



TUGAS AKHIR - TF 141581

**ANALISIS *SAFETY INTEGRITY LEVEL* (SIL)
DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN *FAULT
TREE ANALYSIS* (FTA) PADA UNIT CO₂
ABSORBER 101-E DI AMMONIA PLANT
PT.PETROKIMIA**

UMI AZIZATUS SHOLIAH
NRP. 2413 105 014

Dosen Pembimbing :
Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes

Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TF 141581

***ANALYSIS OF SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL)
USING RISK GRAPH METHOD AND FAULT TREE
ANALYSIS (FTA) IN CO₂ ABSORBER 101-E UNIT
AMMONIA PLANT PT.PETROKIMIA***

UMI AZIZATUS SHOLIAH
NRP. 2413 105 014

Supervisor :
Ir. Ronny Dwi Noryati, M.Kes

DEPARTEMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Technology Industry
Institute of Technology Sepuluh
Nopember
Surabaya 2015

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS *SAFETY SYSTEM INTEGRITY LEVEL*
(SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN *FAULT*
***TREE ANALYSIS* (FTA) PADA UNIT CO₂ ABSORBER 101-**
E DI AMMONIA PLANT PT.PETROKIMIA

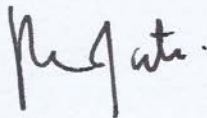
TUGAS AKHIR

Oleh:

UMI AZIZATUS SHOLIAH
NRP 2413105014

Surabaya, 10 Juli 2015
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing



Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes
NIPN. 195711261984032002



Ketua Jurusan
Teknik Fisika, FTI – ITS
Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIPN. 196503091990021001

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS *SAFETY SYSTEM INTEGRITY LEVEL*
(SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN *FAULT*
***TREE ANALYSIS* (FTA) PADA UNIT CO₂ ABSORBER 101-**
E DI AMMONIA PLANT PT.PETROKIMIA

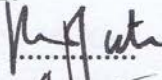
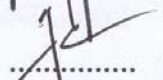

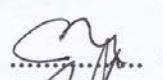

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

UMI AZIZATUS SHOLIHAH
NRP 2413105014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes | 
..... (Pembimbing) |
| 2. Ir. Yaumar, M.T | 
..... (Penguji I) |
| 3. Ir. Sarwono, M.MT | 
..... (Penguji II) |
| 4. Andi Rahmadiansah, S.T, M. T | 
..... (Penguji III) |
| 5. Arief Abdurrahman, S.T, M.T | 
..... (Penguji IV) |

SURABAYA, JULI 2015

ANALISIS *SAFETY INTEGRITY LEVEL* (SIL) DENGAN METODE *RISK GRAPH* DAN *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA) PADA UNIT CO₂ ABSORBER 101-E DI AMMONIA PLANT PT.PETROKIMIA

Nama Mahasiswa : UMI AZIZATUS SHOLIHAH
NRP : 2410 030 011
Jurusan : Teknik Fisika, FTI - ITS
Dosen Pembimbing: IR. RONNY DWI NORIYATI, M.KES

Abstrak

Telah dilakukan analisis mengenai *Safety Integrity Level* (SIL) pada Unit CO₂ Absorber 101-E. Analisis dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu *Risk Graph* dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode *risk graph* digunakan untuk mengetahui nilai SIL setiap skenario kejadian yang ada di Hazard and Operability (HazOp) PT.Petrokimia Gresik sedangkan FTA digunakan untuk mengetahui SIL sistem CO₂ Absorber 101-E berdasarkan potensi kegagalan komponen yang ada pada sistem tersebut. Berdasarkan metode *risk graph* didapatkan bahwa skenario kejadian *overpressure* mempunyai SIL 3 sedangkan pada skenario kejadian *no flow* dan skenario kejadian *low level* mempunyai nilai SIL 2. Nilai SIL tersebut didapatkan dengan menentukan besar konsekuensi, frekuensi kunjungan manusia di lapangan, kemungkinan menghindari kejadian bahaya serta *likelihood* pada komponen. Berbeda halnya dengan metode *risk graph*, berdasarkan metode FTA didapatkan bahwa sistem CO₂ Absorber 101-E mempunyai nilai SIL 1 dengan nilai PFD 0.4121.

Kata kunci: *Safety Integrity Level, Risk Graph, FTA*

**ANALYSIS OF SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) USING
RISK GRAPH METHOD AND FAULT TREE ANALYSIS
(FTA) IN CO₂ ABSORBER 101-E UNIT AMMONIA PLANT
PT.PETROKIMIA**

Name : UMI AZIZATUS SHOLIHAH
NRP : 2413 105 014
Departement : Engineering Physics, FTI - ITS
Supervisor : IR. RONNY DWI NORIATI, M.KES

Abstract

It has been analyzed Safety Integrity Level (SIL) in CO₂ Absorber 101-E. Analizing has done using two method, risk graph and Fault Tree Analysis (FTA). Risk Graph method used to determine SIL of each scenariaos based on Hazard of Operability (HazOp) in PT.Petrokimia Gresik while FTA usd to determine SIL of CO₂ Absorber 101-E system based on probability failure of instruments. The result of risk graph showed that overpressure scenario was in SIL 3, while no flow scenario and low level had SIL 2. The safety integrity level was a function of consequence, occupancy, probability of avoiding hazard and demand rate or likelihood. While risk graph showed different SIL of each scenarios, based on FTA probability failure on demand of CO₂ Absorber 101-E system was 0.4121equals to SIL 1.

Keyword: *Safety Integrity Level, Risk Graph, FTA*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kepada Allah SWT Yang Maha Agung dan Maha Bijaksana. Atas berkah, petunjuk, dan karunia-Nya penulis mampu untuk melaksanakan dan menyelesaikan tugas akhir yang berjudul ***“Analisa Safety Integrity Level (SIL) Dengan Metode Risk Graph Dan Fault Tree Analysis (FTA) Pada Unit Co₂ Absorber 101-E di Ammonia Plant PT.Petrokimia”***

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama menyelesaikan tugas akhir ini penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Kepala Jurusan Teknik Fisika ITS Surabaya.
2. Bapak Ir.Ronny Dwi Noryati, M.Kes selaku dosen pembimbing.
3. Bapak Eka selaku pembimbing lapangan serta seluruh karyawan PT.Petrokimia Gresik.
4. Bapak Hendra Cordova ST,MT selaku Dosen Wali yang telah membimbing selama 2 tahun.
5. Bapak Ir. Yaumar selaku kepala laboratorium Rekayasa Instrumentasi.
6. Bapak-Ibu dosen Jurusan Teknik Fisika yang telah mendidik dan mengajarkan ilmu.
7. Bapak, ibu dan kakak yang selalu mendoakan dan memberi semangat.
8. Teman-teman Lintas Jalur Teknik Fisika 2013.

Semoga rahmat, hidayah, dan karunia Allah SWT menyertai langkah kita dalam hidup.

Surabaya, 22 Juni 2015
Salam

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

BAB I PENDAHULUAN

1.1	Latar Belakang	1
1.2	Permasalahan	2
1.3	Tujuan	2
1.4	Batasan Masalah	2
1.5	Sistematika Laporan	2

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1	CO ₂ Absorber	5
2.2	<i>Safety Integrity Level (SIL)</i>	6
2.3	<i>Metode Risk Graph</i>	7
2.4	<i>Metode Fault Tree Analysis (FTA)</i>	9

BAB III METODOLOGI

3.1	Diagram Alir Penelitian	15
3.2	Tahap Identifikasi Awal	17
3.2.1	<i>Lean Solution Benfield</i>	17
3.2.2	<i>Semi Lean Solution Benfield</i>	18
3.2.3	<i>Rich Solution Benfield</i>	20
3.2.4	Sistem Pengendalian Gas CO ₂	21
3.2.5	Sistem Pengendalian Aliran Gas CO ₂	23
3.2.6	Safety Instrumented System (SIS) CO ₂ Absorber 101-E	24
3.3	Tahap Pengumpulan Data	25
3.4	Tahap Pengolahan Data	26

3.4.1	Penentuan <i>Time To Failure</i> (TTF)	26
3.4.2	Penentuan <i>Mean Time To Failure</i> (MTTF)	27
3.4.3	Penentuan Laju Kegagalan (λ)	30
3.4.4	Penentuan <i>Probability Failure on Demand</i> (PFD)	30
3.5	Penerapan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	30
3.6	Penentuan SIL Unit CO ₂ Absorber 101-E	32
3.7	Penerapan Metode <i>Risk Graph</i>	35

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Analisis Kualitatif <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	43
4.2	Evaluasi Kuantitatif <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	48
4.2.1	<i>Lean Solution Benfield</i>	49
4.2.2	<i>Semi Lean Solution Benfield</i>	51
4.2.3	<i>Rich Solution Benfield</i>	52
4.2.4	Sistem Pengendalian Tekanan Gas CO ₂	53
4.2.5	Sistem Pengendalian Aliran Gas CO ₂	53
4.3	Analisa Semi Kuantitatif <i>Risk Graph</i>	54

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan	61
5.2	Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1	Klasifikasi <i>Safety Integrity Level</i> (SIL) Target Range (IEC 61508, IEC 61511)	7
Tabel	3.1	Penentuan Nilai <i>Time To Failure</i> (TTF)	27
Tabel	3.2	Kategori <i>Vulnerability</i> (IEC 61511)	37
Tabel	3.3	Kategori PLL (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511)	37
Tabel	3.4	Kategori Konsekuensi terhadap Lingkungan (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)	38
Tabel	3.5	Kategori Konsekuensi terhadap Keuangan (AS/NZS 4360, 2004)	39
Tabel	3.6	Kategori <i>Occupancy</i> (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)	39
Tabel	3.7	Kategori <i>Probability of Avoidance</i> (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)	40
Tabel	3.8	Kategori <i>Demand Rate</i> (Marszal dan Scharpf, 2002)	41
Tabel	4.1	Penentuan <i>Safety Integrity Level</i> (SIL) pada <i>Risk Graph</i>	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1	Diagram Proses CO ₂ Absorber 101-E	6
Gambar	2.2	Skema <i>Risk Graph</i>	9
Gambar	2.3	Skema <i>Fault Tree Analysis</i>	10
Gambar	2.4	Simbol <i>AND Gate</i>	11
Gambar	2.5	Simbol <i>OR Gate</i>	11
Gambar	2.6	<i>Inhibit Gate</i>	12
Gambar	2.7	Simbol Identifikasi	12
Gambar	2.8	Simbol Kejadian Kegagalan	12
Gambar	2.9	Plant keseluruhan <i>mixing process</i>	13
Gambar	3.1	Diagram Alir Tugas Akhir	15
Gambar	3.2	Diagram Blok <i>Lean Solution Benfield</i>	17
Gambar	3.3	<i>Loop</i> Pengendalian <i>Lean Solution Benfield</i>	18
Gambar	3.4	Diagram Blok <i>Semi Lean Solution Benfield</i>	19
Gambar	3.5	<i>Loop</i> Pengendalian <i>Semi Lean Solution Benfield</i>	19
Gambar	3.6	<i>Semi Lean Solution Benfield Pump</i>	20
Gambar	3.7	<i>Loop</i> Pengendalian <i>Rich Lean Solution Benfield</i>	20
Gambar	3.8	<i>Rich Solution Benfield Level Control</i>	21
Gambar	3.9	Pengendalian Tekanan	22
Gambar	3.10	Pengendalian Tekanan Gas CO ₂	22
Gambar	3.11	Diagram Blok Pengendalian Aliran Gas CO ₂	23
Gambar	3.12	Pengendalian Aliran Gas CO ₂	23
Gambar	3.13	Diagram Blok SIS Aliran <i>Lean Solution Benfield</i>	24
Gambar	3.14	Diagram Blok SIS Aliran <i>Semi Lean Solution Benfield</i>	24
Gambar	3.15	Diagram Blok SIS Level <i>Rich Solution Benfield</i>	24
Gambar	3.16	SIS pada Unit CO ₂ Absorber 101-E	25
Gambar	3.17	Penentuan Distribusi Kegagalan pada	28

Software ReliaSoft Weibull++ Version 6

Gambar	3.18	Hasil Penentuan Distribusi	29
Gambar	3.19	Nilai Parameter Distribusi	29
Gambar	3.20	<i>Fault Tree Analysis</i> CO2 Absorber 101E	31
Gambar	4.1	Diagram FTA untuk <i>Overpressure</i> pada Unit CO2 Absorber	44
Gambar	4.2	Diagram FTA untuk <i>Low Level</i> pada Unit CO2 Absorber	45
Gambar	4.3	Diagram FTA untuk <i>No Flow</i> pada Unit CO ₂ Absorber	47
Gambar	4.4	Grafik laju Kegagalan Pompa 108J	49
Gambar	4.5	Grafik laju Kegagalan Pompa 108JA	49
Gambar	4.6	Grafik laju Kegagalan FT1014	50
Gambar	4.7	Grafik laju Kegagalan FV1014	50
Gambar	4.8	Grafik laju Kegagalan Pompa 107A	51
Gambar	4.9	Grafik laju Kegagalan Pompa 107B	51
Gambar	4.10	Grafik laju Kegagalan LV1004B	52
Gambar	4.11	Grafik laju Kegagalan LT1004	53
Gambar	4.12	Grafik laju Kegagalan PV1005	53
Gambar	4.13	Grafik laju Kegagalan FV1073	54
Gambar	4.14	Grafik laju Kegagalan FT1073	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. Petrokimia Gresik merupakan produsen pupuk seperti Pupuk Urea, Pupuk Fosfat, Pupuk ZA, Pupuk NPK Phonska (I, II, III, IV), Pupuk NPK (I, II, III, IV), NPK Blending, Pupuk K_2SO_4 (ZK), dan Pupuk Petroganik. Selain itu PT. Petrokimia Gresik juga mempunyai produk non pupuk seperti asam sulfat, asam fosfat, amoniak, *dry ice*, *aluminum flouride*, *cement retarder* dan lain-lain. Dibutuhkan amoniak sebagai bahan baku pembuatan produk tersebut. Proses produksi amoniak melalui beberapa proses salah satunya adalah proses pemisahan gas karbondioksida. Unit CO_2 Absorber 101E merupakan unit pemisah gas karbondioksida (CO_2) yang terkandung dalam gas *synthesa* dengan menggunakan media penyerap larutan benfield yang mengandung kalsium karbonat (K_2CO_3), diethanol amine (DEA), potasium nitrit (KNO_2) dan vanadium (V_2O_5). Proses pemisahan dilakukan dengan mengontak gas *synthesa* dengan larutan benfield sehingga kandungan karbondioksida ikut terlarut dalam larutan benfield (Petrokimia Gresik).

Pada Pabrik I PT.Petrokimia Gresik telah mempunyai dokumen *Hazard and Operability Study* (HazOp) yang dapat digunakan sebagai panduan pengoperasian peralatan yang ada pada Pabrik I. Selain HazOp juga perlu diketahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) untuk mengetahui tingkat keamanan *equipment* yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan perhitungan nilai SIL pada Unit CO_2 Absorber 101E dengan menggunakan dua metode yaitu Fault Tree Analysis (FTA) dan Risk Graph. Penggunaan dua metode dimaksudkan agar dapat diketahui perbedaan hasil perhitungan nilai SIL dengan dua cara yang berbeda.

1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas, permasalahan yang bisa diangkat dalam tugas akhir ini adalah.

1. Menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) sistem CO₂ Absorber 101E.
2. Menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) setiap skenario kejadian.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Memperoleh nilai *Safety Integrity Level* (SIL) sistem CO₂ Absorber menggunakan Metode FTA.
2. Memperoleh nilai *Safety Integrity Level* (SIL) setiap skenario kejadian menggunakan Metode *Risk Graph*.

1.4 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang muncul, maka dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut :

1. Peralatan yang menjadi objek studi pada tugas akhir ini Unit CO₂ Absorber.
2. Data yang digunakan adalah waktu kegagalan komponen, wawancara dan SOP.
3. Skenario kejadian berdasarkan Hazard and Operability (HazOp) PT.Petrokimia Gresik.
4. Penentuan konsekuensi berdasarkan dampak kepada manusia.

1.5 Sistematika Laporan

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan secara sistematis dan tersusun dalam lima bab dengan penjelasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab ini dijelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika laporan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini dibahas mengenai teori-teori dasar yang terkait dalam penulisan tugas akhir.

BAB III Metodologi

Bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan tugas akhir dari awal hingga analisis dan pengujian diselesaikan.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini dilakukan proses pengolahan data dan analisa yang dilakukan pada sistem yang telah dibuat.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan pokok dari seluruh rangkain penelitian yang telah dilakukan dan saran yang dapat dijadikan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

Selain ke lima bab diatas, didalam laporan ini juga terdapat halaman judul, abstrak, lembar pengesahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, daftar pustaka, dan lampiran.

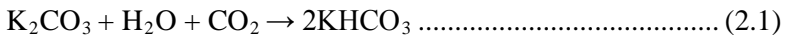
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TEORI PENUNJANG

2.1 CO₂ Absorber

Unit CO₂ Removal terdiri dari unit absorber, stripper serta sistem Benfield (*potassium carbonate*). Larutan Benfield yang terdiri dari larutan karbonat dan larutan DEA mampu menyerap gas-gas *impurities* hingga 98 % sehingga digunakan sebagai larutan pengikat CO₂. Unit CO₂ absorber merupakan suatu tabung atau *vessel* sebagai tempat proses penyerapan CO₂ yang dapat mengakibatkan degradasi pada Ammonia Converter. Proses penyerapan berlangsung secara *counter current* yaitu gas *synthesa* dari bagian bawah kolom absorber dan larutan benfield dari bagian atas.

Proses ini dilakukan pada tekanan tinggi dan temperatur rendah yaitu pada tekanan 32.36 kg/cm² dan temperatur 70°C. Tekanan tinggi digunakan untuk mengubah fasa CO₂ dari fasa gas menjadi cair agar dapat bereaksi dengan larutan Benfield dengan cepat sedangkan temperatur rendah mencegah penguapan gas CO₂. Gas *synthesa* yang telah dipisahkan dari CO₂ keluar melalui bagian atas dari kolom absorber menuju methanator. Berikut adalah reaksi penyerapan CO₂ yang terjadi.



Larutan benfield yang mengandung CO₂ dialirkan menuju unit stripper. Pada kolom stripper terjadi pemisahan antara CO₂ dari larutan benfield. CO₂ menjadi *top product* didapatkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan pupuk urea. Sedangkan larutan benfield yang murni dan menjadi *bottom product* dialirkan kembali ke kolom absorber untuk melakukan proses penyerapan CO₂.



agar tetap aman ketika teri

reduction yang disyaratkan. SIF suatu SIS umumnya terdiri dari

SIL merupakan tingkat kemampuan SIF melakukan *risk reduction* yang disyaratkan. SIF suatu SIS umumnya terdiri dari

sensor, *programmable logic solvers* dan *final control elements* (FCE). *Safety Integrity Level* (SIL) berhubungan dengan *Probability of Failure on Demand* (PFD) dari suatu SIF. Penentuan nilai SIL berdasarkan pada tingkat resiko kecelakaan, evaluasi konsekuensi dan kemungkinan terjadinya kecelakaan serta evaluasi efektivitas *safeguard* pada suatu proses (Marszal dan Scharpf, 2002).

Tabel 2.1. Klasifikasi *Safety Integrity Level* (SIL) Range Target (IEC 61508, IEC 61511)

<i>Safety Integrity Level</i>	<i>Probability Failure on Demand (PFD)</i>	<i>Risk Reduction Factor (RRF)</i>
4	$10^{-4} - 10^{-5}$	10.000-100.000
3	$10^{-3} - 10^{-4}$	1000-10000
2	$10^{-2} - 10^{-3}$	100-1000
1	$10^{-1} - 10^{-2}$	10-100

Safety Integrity Level (SIL) digunakan sebagai dasar penentuan desain suatu komponen pada sistem atau proses. penentuan desain komponen dapat dilakukan dengan dua cara yaitu berdasarkan spesifikasi komponen dan spesifikasi performansi komponen. *Safety Integrity Level* mengacu pada spesifikasi performansi komponen berdasarkan kemungkinan minimal komponen tersebut akan gagal melakukan fungsinya. Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL) dapat dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif yaitu dengan melakukan perhitungan terhadap PFD dari setiap SIF penyusun SIS kemudian menghitung PFD total SIF.

2.3 Metode *Risk Graph*

Metode ini pertama kali dikembangkan dan digunakan oleh U.S. Military (MIL STD 882). *Risk Graph* merupakan metode penentuan SIL dengan pendekatan kualitatif atau semi kuantitatif berdasarkan nilai konsekuensi dan frekuensi kejadian bahaya.

Metode *Risk Graph* secara kuantitatif mempunyai parameter yang sama dengan risk graph kualitatif tetapi pada semi kuantitatif klasifikasi parameter disertai angka. Pengklasifikasian parameter risk graph berdasarkan angka biasa disebut dengan *Calibrated Risk Graph* dimana hasil akhir dari metode tersebut tidak diharuskan untuk menentukan nilai SIL dari suatu sistem (Christopher A. Lassen 2008). Penentuan SIL dimulai dengan menentukan *equipment* yang berpotensi menimbulkan bahaya. Secara matematis metode *risk graph* digambarkan melalui persamaan berikut

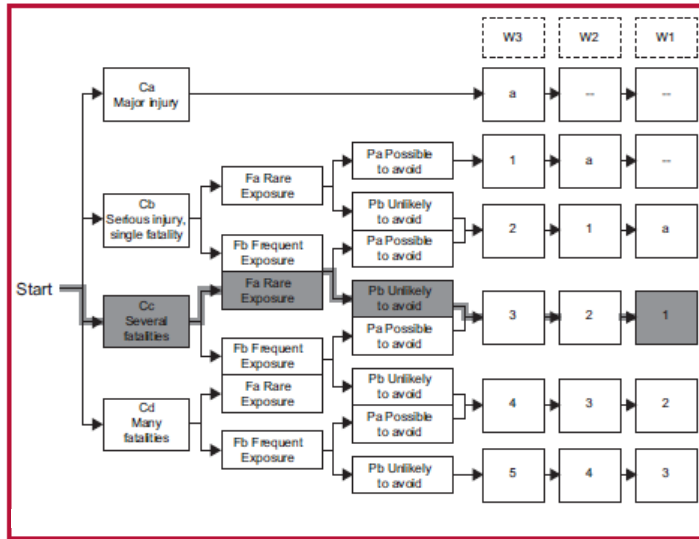
$$RI = \sum_{i=1}^n C_i F_i \quad (2.2)$$

dimana :

- RI = resiko (*risk integral*)
- n = jumlah kejadian bahaya
- F = frekuensi kejadian
- C = Konsekuensi kejadian bahaya

Konsekuensi (C) dapat diartikan sebagai nilai dari fatalitas yang ditimbulkan dari suatu bahaya. Parameter tersebut meliputi tingkat bahaya yang diharapkan dan luka yang diterima bila kejadian bahaya terjadi. Berdasarkan tingkatan konsekuensi pada *Risk Graph* dibagi menjadi empat yaitu Ca, Cb, Cc dan Cd dimana nilai $Ca < Cb < Cc < Cd$. Selanjutnya menentukan seberapa sering seseorang datang pada daerah disekitar *equipment* tersebut yang dinyatakan dalam bentuk frekuensi (F) dimana nilai $Fa < Fb$. Masing-masing dari frekuensi mempunyai kemungkinan seseorang untuk menghindari bahaya yang dinyatakan dengan *probability* (P) dimana nilai $Pa < Pb < Pc$. Berdasarkan nilai konsekuensi, frekuensi dan probabilitas untuk menghindari bahaya dapat diketahui nilai kemungkinan terjadinya bahaya (W) yang terbagi menjadi tiga tingkatan yaitu

$W_a < W_b < W_d$ dimana pada tiap-tiap tingkatan tersebut dapat menaksir nilai SIL. Parameter-parameter tersebut dibentuk dalam bentuk grafik seperti dibawah ini.



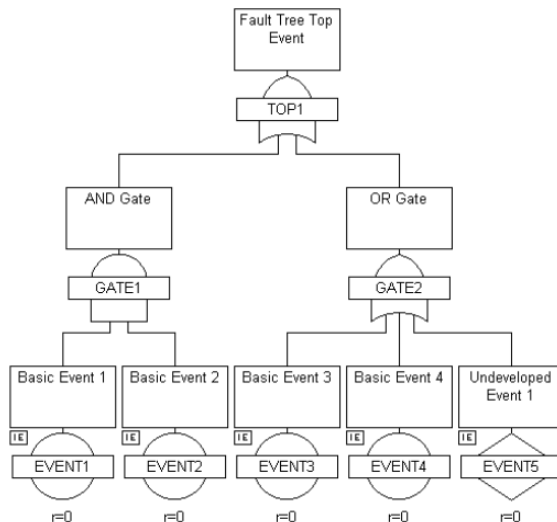
Gambar 2.2. Skema Risk Graph (Process Safebook 1, 2003)

2.4 Metode Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) merupakan metode pendekatan secara *top-down* untuk menggambarkan kegagalan yang terjadi pada suatu sistem. Pendekatan dilakukan dari *top event* yang merupakan hasil dari kegagalan kejadian awal (*basic event*) sehingga menyebabkan kegagalan pada sistem. Logika yang digunakan pada FTA tidak hanya menjelaskan mengenai bagaimana kegagalan itu terjadi tetapi juga menghitung kemungkinan kegagalan itu terjadi. Selain itu metode ini juga menentukan parameter-parameter penting dan sensitivitas dari sebuah sistem (Marszal dan Scharpf, 2002).

FTA menggunakan simbol-simbol yang menjelaskan hubungan logika pada kejadian dan kegagalan yang terjadi.

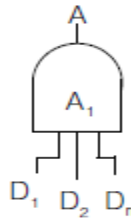
Selain itu juga digunakan gerbang logika yang menghubungkan kejadian awal sehingga didapatkan *top event* sebagai hasilnya, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Gerbang logika yang banyak digunakan adalah gerbang logika AND dan OR. Penggunaan gerbang logika AND secara kualitatif menyatakan bahwa nilai *output* akan bernilai *true* bila semua *input* bernilai *true*. Sedangkan penggunaan gerbang logika AND secara kuantitatif yaitu *output* akan didapatkan dengan mengalikan kemungkinan (*probability*) yang terjadi dan mengasumsikan bahwa *input* kejadian bersifat independen. Hal tersebut berbeda dengan gerbang logika OR dimana penggunaan gerbang logika OR secara kualitatif berarti bahwa *output* akan bernilai *true* apabila terdapat satu atau lebih *input* yang bernilai *true*. Sedangkan secara kuantitatif *output* didapatkan dengan menambahkan kemungkinan (*probability*) yang terjadi (Marszal dan Scharpf, 2002; Baybutt, 2007).



Gambar 2.3. Skema *Fault Tree Analysis* (Marszal dan Scharpf, 2002)

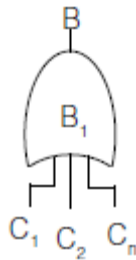
Pada *Fault Tree Analysis* (FTA) menggunakan simbol untuk mempermudah merepresentasikan penyebab dan akibat antar kejadian. Berikut simbol yang sering digunakan pada *Fault Tree Analysis* (FTA).

- *AND Gate*, suatu logika hubungan “DAN”. Hasil atau keluaran A ada (bernilai 1) jika semua $D_1 \dots D_n$ ada (bernilai 1) secara bersamaan.



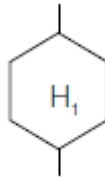
Gambar 2.4 Simbol *AND Gate* (Ebeling, 1997)

- *OR Gate*, suatu logika hubungan inklusif “ATAU”. Hasil atau keluaran B ada (bernilai 1) jika salah satu $C_1 \dots C_n$ atau kombinasi tersebut ada.



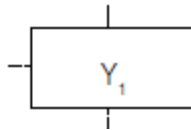
Gambar 2.5 Simbol *OR Gate* (Ebeling, 1997)

- *Inhibit Gate*, suatu keadaan yang menerapkan kondisi atau pembatasan dengan urutan yang harus dipenuhi sehingga keluaran dapat dihasilkan.



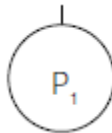
Gambar 2.6 *Inhibit Gate*(Ebeling, 1997)

- Identifikasi terhadap peristiwa tertentu. Biasanya menjelaskan hasil dari AND Gate atau OR Gate.



Gambar 2.7 Simbol Identifikasi(Ebeling, 1997)

- Kejadian dasar (*basic event*) yang dapat dijelaskan dengan komponen tertentu.



Gambar 2.8 Simbol Kejadian Kegagalan(Ebeling, 1997)

- Kejadian yang biasanya diharapkan terjadi kecuali kegagalan terjadi maka kejadian tersebut tidak akan terjadi.



Gambar 2.9 Simbol Kejadian(Ebeling, 1997)

Prosedur dan pendekatan *fault tree analysis* (FTA) dapat digunakan sebagai alat untuk menganalisis dan mengevaluasi suatu kesalahan atau kegagalan. Analisa tersebut dapat dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Berikut merupakan langkah-langkah analisa *fault tree analysis* (FTA) secara kualitatif (Ericson II, 1999) :

1. Mengidentifikasi kejadian utama (*top event*) untuk dianalisis dan dicari penyebabnya. Hasil analisa tersebut juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi kejadian yang tidak diinginkan.
2. Menambahkan kondisi-kondisi yang dapat memicu terjadinya kejadian utama (*top event*).
3. Menetapkan *logic gate* (gerbang logika) sesuai dengan gabungan peristiwa-peristiwa yang terjadi pada waktu dan tempat yang sama (*AND*) atau kejadian yang mungkin terjadi (*OR*).
4. Mengidentifikasi peristiwa-peristiwa dan menetapkan simbol logika untuk menghubungkan peristiwa-peristiwa tersebut. peristiwa yang dimaksud merupakan suatu kejadian yang dapat menjadi penyebab bagi timbulnya peristiwa lain yang menuju pada kejadian utama (*top event*).
5. Menentukan probabilitas atau kemungkinan setiap peristiwa yang terjadi dengan memikirkan kemungkinan berdasarkan probabilitas Persamaan dibawah dapat menentukan gerbang logika *AND* dan *OR*. Apabila probabilitas kejadian tidak dapat ditetapkan, FTA dapat berfungsi sebagai metode evaluasi.

Dalam penentuan nilai *Safety Integrity Level* dengan *fault tree analysis* (FTA) digunakan metode kuantitatif yang terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Menentukan nilai *Time to Failure* (TTF) dari masing-masing komponen. TTF merupakan rentan waktu komponen saat mulai beroperasi sampai mengalami kegagalan.
2. Berdasarkan nilai TTF tersebut dapat diketahui nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dan laju kegagalan (λ) serta

probability density function (PDF). Persamaan PFD distribusi eksponensial adalah:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.3)$$

Bila distribusi waktu menggunakan distribusi eksponensial maka fungsi kehandalan distribusi eksponensial adalah:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.4)$$

Sehingga laju kegagalan distribusi eksponensial adalah:

$$\lambda(t) = \lambda \quad (2.5)$$

Dengan waktu rata-rata kegagalan distribusi kegagalan adalah:

$$MTTF = \frac{1}{\lambda} \quad (2.6)$$

MTTF menggambarkan bentuk distribusi nilai TTF, kehandalan dan laju kegagalan (λ). PFD yang dimaksud merupakan nilai PFD dari sensor, logic solver dan aktuator seperti dibawah ini.

$$PFD_{avg} = PFD_{sensor} \times PFD_{logic\ solver} \times PFD_{actuator} \quad (2.7)$$

Nilai PFD_{avg} merupakan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) dari sistem tersebut. Nilai tersebut dapat diketahui dengan menggunakan persamaan dibawah ini

$$PFD = \frac{\lambda \times Tl}{2} \quad (2.8)$$

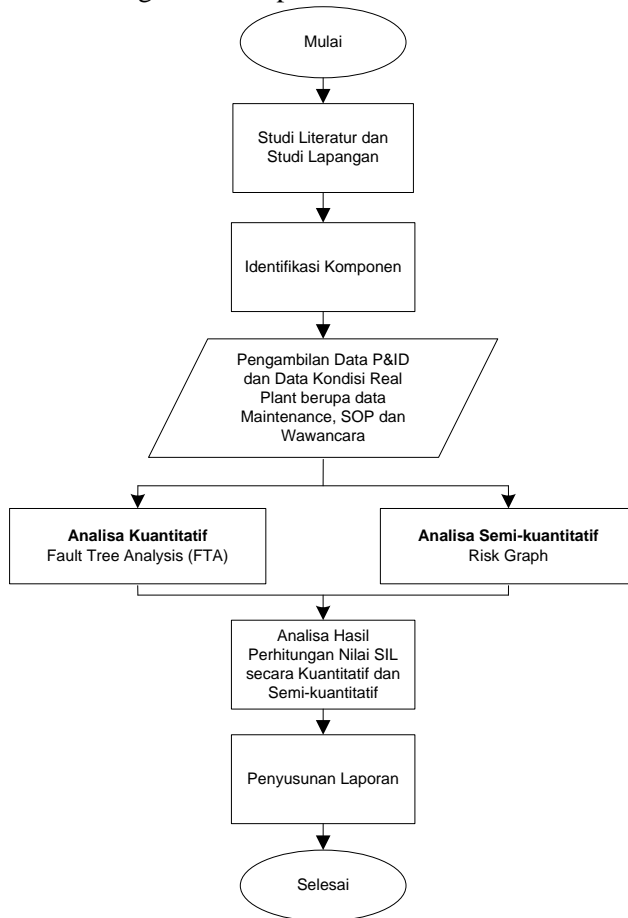
Nilai SIL dapat dijadikan nilai performansi dari sebuah *Safety Instrumented Sysem* (SIS) yang berfungsi untuk memastikan bahwa proses berlangsung sesuai dengan nilai yang ditentukan (*set point*).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan penelitian yang dilakukan. Adapun tahapan tersebut direpresentasikan dalam bentuk diagram alir seperti dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

Keterangan Diagram Alir Penelitian

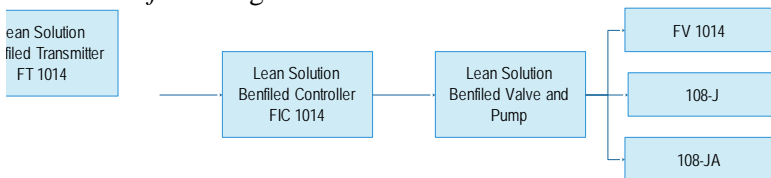
1. Studi literatur
Mencari dan mempelajari buku literatur seperti buku, jurnal, dan internet untuk mendapatkan informasi maupun data-data yang diinginkan berkaitan dengan data *maintenance* dan perhitungan untuk menentukan SIL.
2. Identifikasi Komponen
Menentukan komponen-komponen yang dapat mempengaruhi parameter serta proses penyerapan gas CO₂ pada unit CO₂ Absorber 101-E.
3. Pengambilan data
Data yang di gunakan adalah P&ID, data *maintenance* komponen, SOP dan wawancara mengenai unit CO₂ Absorber 101-E.
4. Simulasi Software
Dilakukan simulasi *software* untuk mengetahui performansi komponen dengan menggunakan Software Reliasoft Weibull++ 6 dan Microsoft Exel.
5. Analisa Kualitatif dan Semi Kuantitatif
Analisa kuantitatif dilakukan untuk mengetahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) berdasarkan data *maintenance* komponen-komponen yang ada pada unit CO₂ Absorber 101E. Performansi kompone dapat diketahui berdasarkan *failure rate* (λ) dan *Probability Failure on Demand* (PFD). Sedangkan analisa semi-kuantitatif dilakukan untuk mengetahui tingkat resiko yang ada pada pada unit CO₂ Absorber 101E. Analisa dilakukan berdasarkan konsekuensi, *likelihood* dari setiap skenario kejadian.
6. Analisa Hasil Perhitungan Nilai SIL
Hasil perhitungan Probability Failure on Demand (PFD) dan tingkat resiko untuk mengetahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) serta tingka bahaya yang diterima oleh pekerja yang berada disekitar unit CO₂ Absorber 101-E.
7. Penyusunan Laporan.
Pada tahap terakhir ini dilakukan penyusunan laporan sebagai dokumentasi dari pelaksanaan Tugas Akhir.

3.2 Tahap Identifikasi Awal

Pada tahap ini dilakukan identifikasi komponen-komponen yang ada pada unit CO₂ Absorber 101-E. Identifikasi dilakukan berdasarkan *Piping and Instrument Diagram* yaitu dengan menganalisa tiap loop pengendalian yang ada serta studi lapangan untuk mengetahui proses yang terjadi pada CO₂ Absorber 101-E. Berdasarkan *Piping and Instrument Diagram* diketahui bahwa terdapat empat *loop* pengendalian yang berpotensi menimbulkan bahaya bila terjadi kegagalan yaitu *loop* pengendalian *lean solution benfield*, *loop* pengendalian *semi lean solution benfield*, *loop* pengendalian *level rich solution benfield* dan *loop* pengendalian tekanan pada CO₂ Absorber 101-E. Pada setiap *loop* pengendalian yang ada terdapat *sensing element*, *logic solver* serta *final element* yang dapat diketahui berdasarkan *Piping and Instrument Diagram*.

3.2.1 Lean Solution Benfield

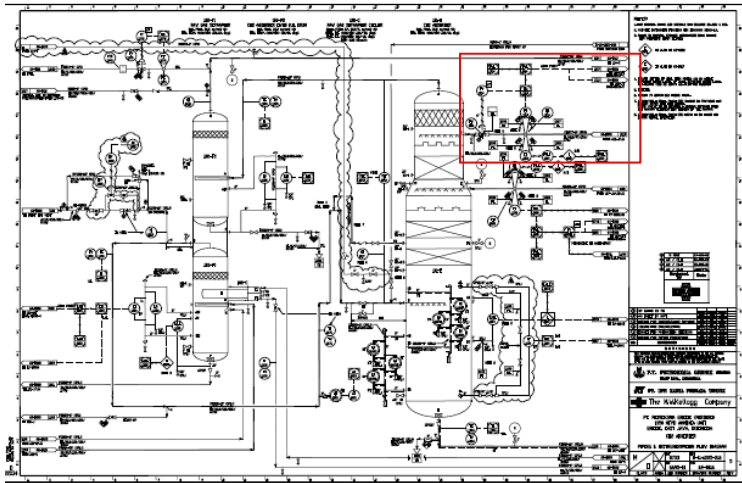
Lean solution benfield merupakan larutan benfield yang memiliki kadar potasium karbonat paling tinggi. *Lean solution benfield* didapatkan dari hasil pengolahan larutan benfield pada unit CO₂ Stripper 102-E bagian bawah dengan pemanasan hingga temperatur 125.34°C. Akibat pemanasan tersebut sebagian besar gas CO₂ menguap sehingga kandungan CO₂ dalam *lean solution benfield* sangat sedikit.



Gambar 3.2 Diagram Blok *Lean Solution Benfield*

Lean solution benfield dialirkan menuju CO₂ Absorber menggunakan *lean solution pump* 108-JA. Pada diagram blok tersebut terdapat FT1014 sebagai *sensing element* yang mengukur laju aliran *lean solution benfield* serta FIC1014 sebagai

controller. Selain itu juga terdapat aktuatur berupa adalah FV1014 untuk menentukan besar aliran *lean solution benfield* yang masuk pada kolom *absorber*.

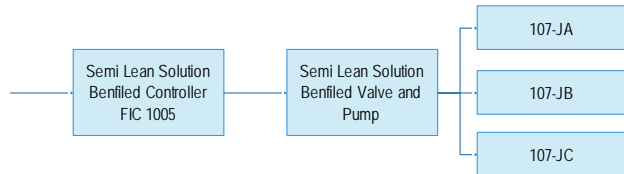


Gambar 3.3 Loop Pengendalian *Lean Solution Benfield*
(Petrokimia Gresik)

3.2.2 *Semi Lean Solution Benfield*

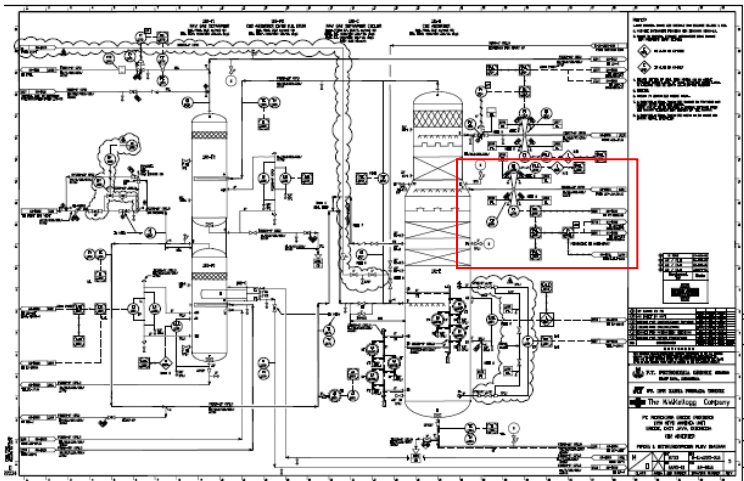
Semi Lean Solution Benfield merupakan larutan benfield yang telah teregenerasi dengan kadar potasium karbonat yang lebih rendah dan sedikit mengandung CO_2 . *Semi lean solution benfield* didapatkan dari pengolahan unit CO_2 Stripper 102-E bagian tengah dengan temperatur 121.78°C . Sebelum dialirkan ke CO_2 Absorber 101-E, *semi lean solution benfield* ditampung terlebih dahulu pada *flash tank* 132-F agar tidak terjadi akumulasi udara. Selanjutnya *semi lean solution benfield* dialirkan menuju CO_2 Absorber 101-E oleh pompa 107JA/JB/JC. Pompa tersebut memiliki penggerak yang berbeda. Pompa 107J-JA digerakkan oleh pompa hidrolik 107JAHT, sedangkan pompa 107J-JB

digerakkan oleh motor dan pompa 107J-JC digerakkan oleh *steam*.

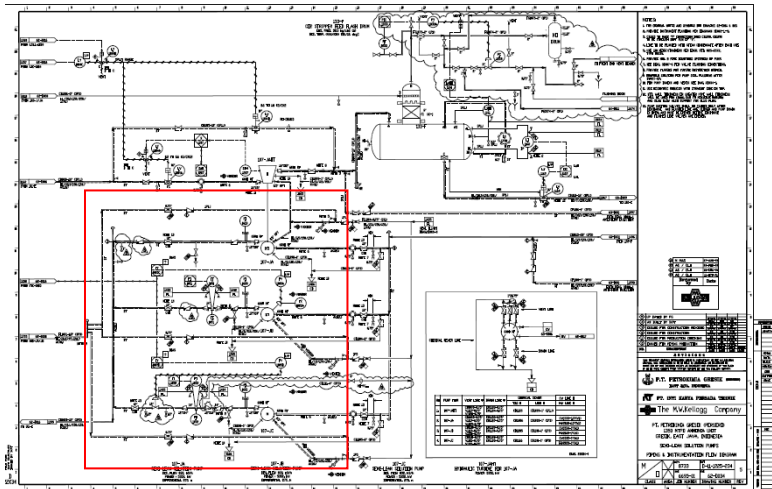


Gambar 3.4 Diagram Blok *Semi Lean Solution Benfield*

Pada diagram blok *semi lean solution benfield* terdapat FT1005 sebagai *sensing element* yang memberikan sinyal masukan untuk FIC1005 yang bertindak sebagai *controller*. Sedangkan final element pada pengendalian *semi lean solution benfield* adalah *semi lean pump* 107J-JA/JB/JC.



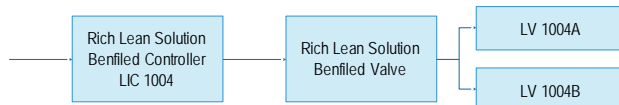
Gambar 3.5 Loop Pengendalian *Semi Lean Solution Benfield*
(Petrokimia Gresik)



Gambar 3.6 *Semi Lean Solution Benfield Pump*
(Petrokimia Gresik)

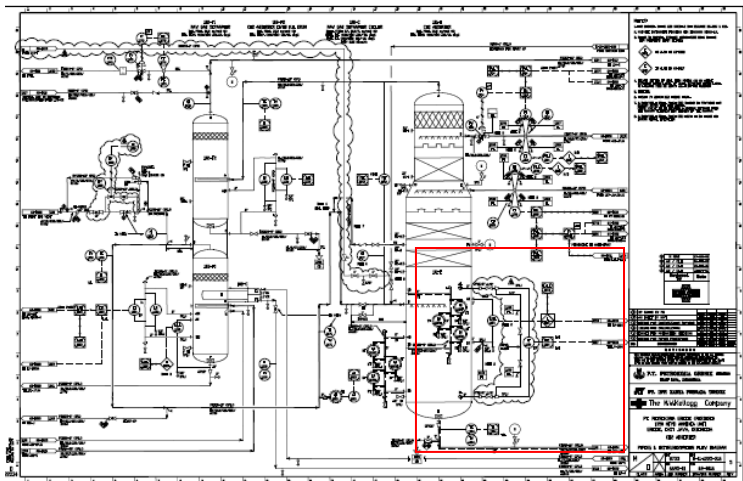
3.2.3 Rich Solution Benfield

Rich Solution Benfield merupakan larutan benfield baik *lean solution benfield* maupun *semi lean solution benfield* yang telah menyerap CO_2 . Penyerapan terjadi sebagai akibat kontak antara *syn gas* dengan larutan benfield pada tekanan tinggi. Akibat kontak tersebut kadar CO_2 pada *syn gas* yang menuju metanator berkurang sedangkan kadar CO_2 pada larutan benfield akan meningkat. Hasil dari kontak antara *syn gas* dan larutan benfield menghasilkan *rich solution benfield* pada bagian bawah kolom CO_2 Absorber 101-E.



Gambar 3.7 *Loop Pengendalian RichLean Solution Benfield*

Rich solution benfiled dialirkan menuju CO₂ Stripper 102-E berdasarkan perbedaan tekanan yang dikendalikan oleh *level control* LIC1004. Selain itu aliran *rich solution* yang menuju CO₂ Stripper 102-E juga digunakan untuk menggerakkan pompa hidrolik sebagai penggerak *semi lean solution benfield* 107-JA. Oleh karena itu besar level yang berada pada kolom *absorber* dijaga pada kondisi 85% dari tinggi *absorber* agar tidak terjadi *less power* untuk *semi lean solution benfiled pump* 107-JA. Pada diagram blok pengendalian *level rich solution benfiled* terdapat LT1004 yang berfungsi sebagai *sensing element* dan mengirimkan sinyal kepada *controller* LIC1004. Sedangkan *final control element* adalah LV1004A dan LV1004B.

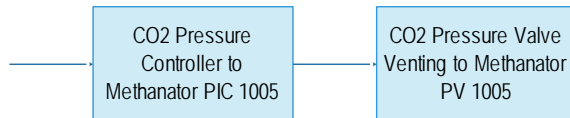


Gambar 3.8 *Rich Solution Benfield Level Control*
(Petrokimia Gresik)

3.2.4 Sistem Pengendalian Tekanan Gas CO₂

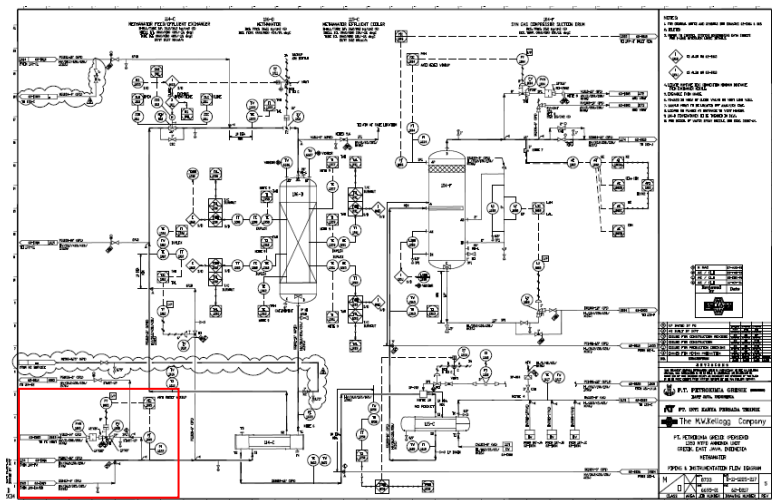
Proses penyerapan CO₂ pada unit CO₂ Absorber 101-E berlangsung pada tekanan tinggi yaitu antara 28-32 kg/cm²g agar kadar CO₂ yang lolos menuju metanator kecil. Namun apabila tekanan terlalu tinggi dapat menyebabkan *overpressure* pada

aliran *syn gas* yang menuju ke metanator. Selain itu *overpressure* juga dapat menyebabkan CO₂ Absorber 101-E mengalami kerusakan bahkan meledak akibat beban yang terlalu berat.



Gambar 3.9 Pengendalian Tekanan

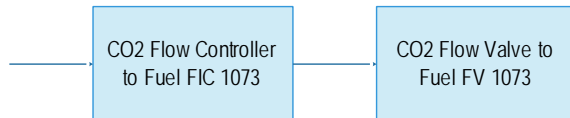
Berdasarkan diagram blok pengendalian tekanan tersebut terdapat *pressure sensing element* PT1005 yang mengukur besar tekanan gas yang mengalir menuju methanator. Apabila besar tekanan melebihi batas maksimal maka controller PIC1005 akan memberikan perintah kepada PV1005 yang bertindak sebagai *vent* untuk membuka.



Gambar 3.10 Pengendalian Tekanan Gas CO₂
(Petrokimia Gresik)

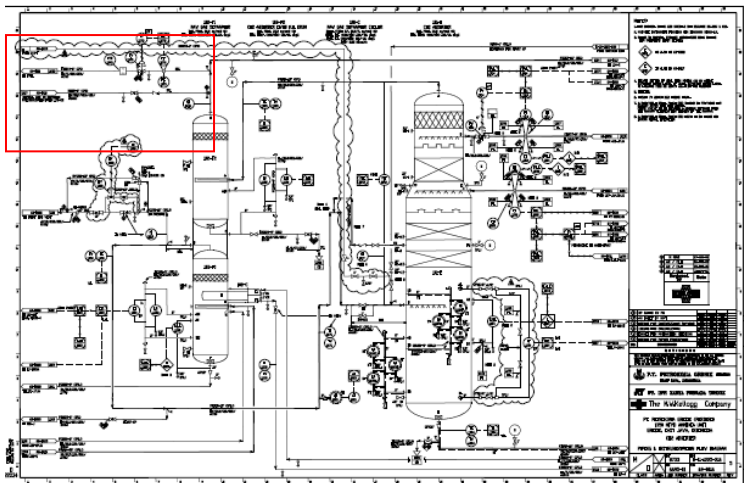
3.2.5 Sistem Pengendalian Aliran Gas CO₂

Selain digunakan sebagai bahan pembuatan pupuk urea, gas CO₂ hasil pemisahan pada unit CO₂ absorber 101-E juga digunakan sebagai campuran bahan bakar pada unit reformer. Unit geformer merupakan unit penghasil gas synthesa.



Gambar 3.11 Diagram Blok Pengendalian Aliran Gas CO₂

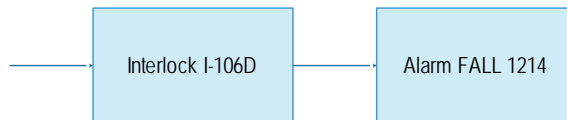
Pada diagram tersebut dapat diketahui bahwa pada sistem pengendalian aliran gas CO₂ terdapat *flow transmitter* FT1073 yang mengukur besar aliran gas dan mengirimkannya kepada *controller* FIC1073. Sinyal tersebut digunakan sebagai masukan untuk menentukan lebar bukaan *valve* pada *final control element* FV1073.



Gambar 3.12 Pengendalian Aliran Gas CO₂
(Petrokimia Gresik)

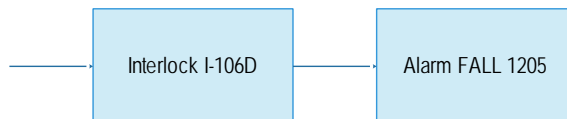
3.2.6 *Safety Instrumented System (SIS) CO₂ Absorber 101-E*

Safety Instrumented System (SIS) berfungsi sebagai pengaman (*safety*) ketika *Basic Process Control System (BPCS)* gagal atau mengalami kerusakan. Hal itu bertujuan untuk menghindari kejadian bahaya ketika terjadi kegagalan pada *equipment* sehingga proses yang terjadi pada Unit CO₂ Absorber 101-E tetap dapat dikendalikan. SIS bukan sebagai pengganti BPCS ketika BPCS mengalami kegagalan akan tetapi mengambil alih pengendalian (*control*) pada proses sehingga tidak terjadi kejadian diluar kendali (*out of control*).



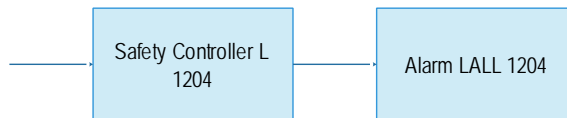
Gambar 3.13 Diagram Blok SIS Aliran *Lean Solution Benfield*

Sedangkan pada SIS pada aliran *Semi Lean Solution Benfield* adalah sebagai berikut.



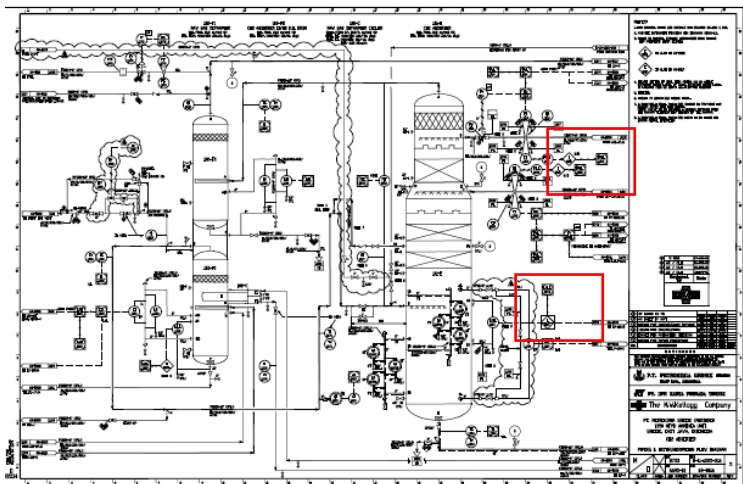
Gambar 3.14 Diagram Blok SIS Aliran *Semi Lean Solution Benfield*

Selain itu juga terdapat *safety system* pada *level rich solution benfield* berikut ini.



Gambar 3.15 Diagram Blok SIS Level *Rich Solution Benfield*

Berdasarkan diagram blok tersebut terdapat *level safety* I-106D yang akan bekerja ketika terjadi *less flow* baik pada *lean solution benfield* maupun *semi lean solution benfield*. *Level safety* akan bekerja memberikan sinyal pada alarm ketika laju aliran *lean solution benfield* mencapai 125 ton/jam dan/atau aliran *semi lean solution benfield* 1860 ton/jam. Selain itu juga terdapat level safety yaitu L 1204 yang bekerja ketika level pada *rich solution benfield* mencapai 70%. Kedua *safety system logic solver* yang bekerja secara sekuensial (*on/off*). Hal tersebut bertujuan agar *logic solver* memberikan respon yang cepat ketika terjadi aliran atau level larutan benfield berkurang mencapai nilai 'low' sehingga tidak terjadi *less flow* dan *low level* pada Unit CO₂ Absorber yang berdampak pada kerusakan *equipment* lain.



Gambar 3.16 SIS pada Unit CO₂ Absorber 101-E
(Petrokimia Gresik)

3.3 Tahap Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dan informasi mengenai unit CO₂ Absorber 101-E dilakukan melalui beberapa cara yaitu:

1. Wawancara

Wawancara dilakukan untuk mengetahui deskripsi proses serta kegiatan yang dilakukan oleh pekerja pada unit CO₂ Absorber 101-E. Selain itu wawancara dilakukan untuk mengetahui SOP apabila terjadi kegagalan atau potensi kejadian bahaya.

2. *Historical work orde/ maintenance activity report*

Historical work orde digunakan untuk mengetahui potensi kegagalan komponen-komponen yang ada pada unit CO₂ Absorber 101-E. Potensi kegagalan dapat diketahui melalui kerusakan yang pernah dialami oleh komponen sehingga dapat diketahui laju kegagalannya (*failure rate*). Selain itu *historical work orde* juga dapat digunakan untuk mengetahui nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada sistem tersebut.

3. Analisa HAZOP

Hazard and operability analysis (HAZOP) digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya pada sebuah sistem. Identifikasi dilakukan dengan mengetahui penyimpangan yang terjadi pada unit CO₂ Absorber 101-E serta akibat yang ditimbulkan apabila kejadian tersebut terjadi.

3.4 Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data yang telah didapatkan baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Pengolahan data terdiri dari beberapa tahap diantaranya:

3.4.1 Penentuan *Time To Failure* (TTF)

Time To Failure (TTF) merupakan rentan waktu suatu komponen mengalami kerusakan hingga kerusakan berikutnya. Penentuan nilai *Time To Failure* (TTF) berdasarkan *maintenance data* dari *Historical Work Orde* pada tahun 2008 hingga 2015.

Tabel 3.1 Penentuan Nilai *Time To Failure* (TTF)

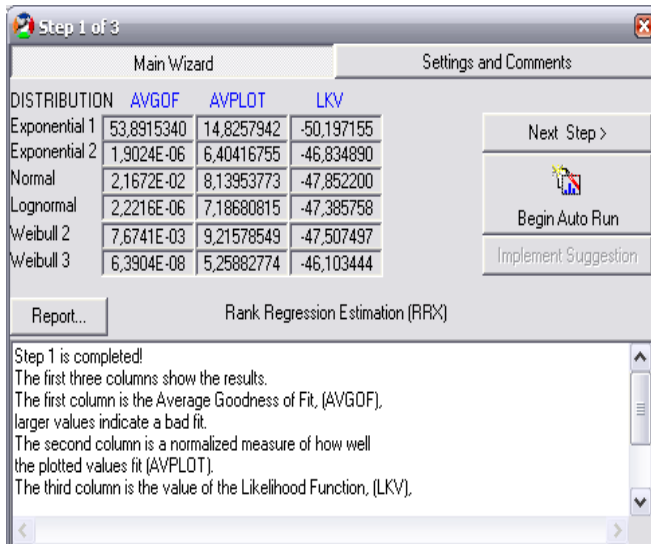
Raise Date	Plant Start Date	TTF(day)	TTF(hour)
11/8/2005	08/11/2005	0	0
11/3/2006	03/11/2006	360	8640
5/9/2007	09/05/2007	187	4488
2/6/2008	06/02/2008	273	6552
11/8/2010	08/11/2010	1006	24144
2/7/2011	07/02/2011	91	2184
8/6/2012	06/08/2012	546	13104
11/6/2012	06/11/2012	92	2208
2/6/2013	06/02/2013	92	2208
11/10/2014	10/11/2014	642	15408
2/13/2015	13/02/2015	95	2280

3.4.2 Penentuan Distribusi

Berdasarkan nilai *Time To Failure* (TTF) yang telah diketahui selanjutnya dilakukan penentuan distribusi waktu kegagalan. Penentuan distriusi dilakukan dengan menggunakan *Software ReliaSoft Weibull++ Version 6* dengan tahapan sebagai berikut:

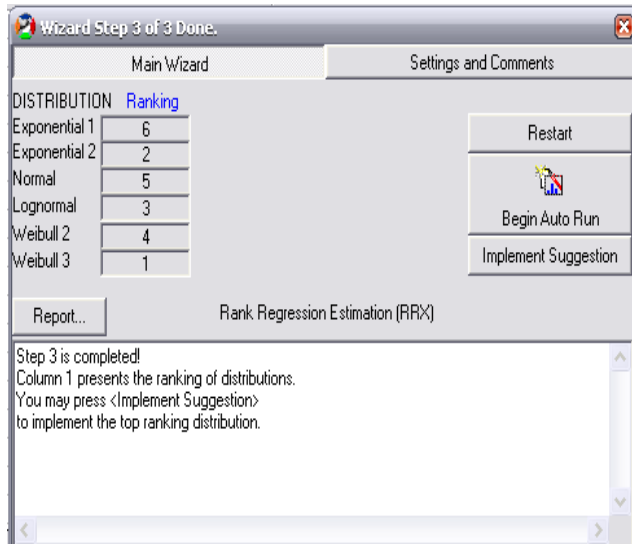
- Memasukkan nilai TTF pada *Software ReliaSoft Weibull++ Version 6*.
- Melakukan uji distribusi menggunakan *toolbox option distribution wizard* untuk mendapatkan nilai *average goodness of fit* (AVGOF). AVGOF menyatakan ketidak

sesuaian suatu distribusi sehingga ketika nilai VGOF semakin besar maka distribusi itu semakin tidak sesuai. Nilai parameter pada setiap distribusi dapat diketahui dengan memilih *report* pada *window* ini.



Gambar 3.17 Penentuan Distribusi Kegagalan pada *Software ReliaSoft Weibull++ Version 6*

- Pada *window setting and comment* akan muncul urutan distribusi. Ranking 1 menyatakan distribusi yang baik digunakan untuk menyatakan waktu kegagalan sesuai dengan nilai TTF yang didapatkan sebelumnya.



Gambar 3.18 Hasil Penentuan Distribusi

Nilai parameter distribusi yang terbaik dapat diketahui dengan memilih *implement suggestion* sehingga didapatkan parameter berikut.



Gambar 3.19 Nilai Parameter Distribusi

3.4.3 Penentuan Laju Kegagalan (λ)

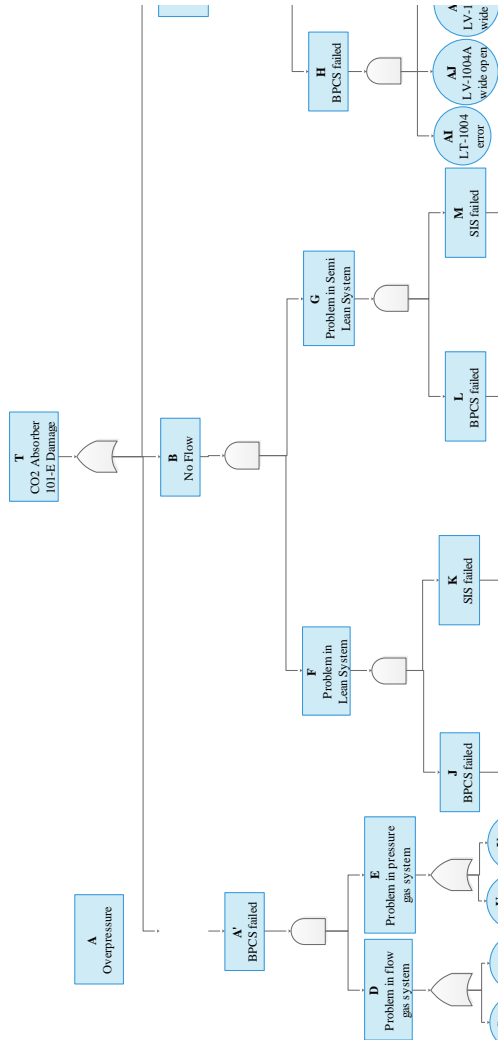
Laju kegagalan menyatakan terjadinya kegagalan pada suatu komponen berdasarkan fungsi waktu. Setiap komponen mempunyai life time yang berbeda-beda sehingga laju kegagalan tiap komponen menjadi berbeda pula. Laju kegagalan dapat ditentukan berdasarkan parameter jenis distribusi yang telah didapatkan. Umumnya nilai laju kegagalan akan naik seiring lamanya waktu operasi dari suatu komponen. Nilai laju kegagalan tersebut akan digunakan untuk menentukan nilai *Probability Failure on Demand* (PFD).

3.4.4 Penentuan *Probability Failure on Demand* (PFD)

Probability Failure on Demand (PFD) merupakan nilai rata-rata kegagalan pada sistem *safety*. Nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) dapat digunakan untuk menentukan nilai *safety integrity level* (SIL) dari sebuah sistem. Nilai tersebut mempunyai rentang 0 hingga 1 yang menyatakan bahwa semakin mendekati 1 maka nilai SIL dari sistem tersebut semakin rendah.

3.5 Penerapan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

Pada tahap ini dilakukan identifikasi komponen-komponen serta kejadian yang dapat menyebabkan unit CO₂ Absorber 101-E mengalami trip. Analisa dilakukan berdasarkan *Piping and Instrumentation Diagram* (P&ID) dan HAZOP untuk menentukan potensi kegagalan yang terjadi. Selain itu juga perlu mengetahui alur proses yang terjadi pada CO₂ Absorber 101-E sehingga dapat menentukan dampak terjadinya kegagalan suatu komponen atau kejadian bahaya. Dari data tersebut dapat ditentukan *top event* yang merupakan dampak akhir dari kejadian-kejadian pada *basic event*. Berikut merupakan *Fault Tree Analysis* (FTA) dari unit CO₂ Absorber 101-E.



Gambar 3.20 *Fault Tree Analysis CO2 Absorber 101-E*

3.6 Penentuan SIL Unit CO₂ Absorber 101-E

Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL) dilakukan dengan menghitung nilai *Probability Failure on Demand* (PFD) dari tiap komponen.

- *Sistem Lean Solution Benfield*

Pada sistem *lean solution benfield* terdapat pengendalian aliran *lean solution benfield* yang masuk ke unit CO₂ Absorber 101-E. Aliran *lean solution benfield* didapatkan dari Unit CO₂ Stripper 102-E yang dipompa oleh pompa 108J dan 108JA. Debit aliran *lean solution benfield* pada keadaan normal yang diukur oleh FT 1014 adalah 180 ton/jam. Apabila aliran *lean solution benfield* terlalu tinggi hingga 275 ton/jam maka alarm akan memberikan peringatan kepada FIC 1014 untuk memberikan perintah kepada FV1014 agar mengurangi bukaan *valve*. Begitu pula ketika aliran *lean solution benfield* terlalu kecil yaitu sekitar 125 ton/jam maka alarm memberikan peringatan kepada FIC 1014 untuk menambah bukaan *valve*. Berdasarkan komponen-komponen tersebut dapat diketahui nilai SIL menggunakan perhitungan berikut:

$$PFD_{\text{sensor}} = PFD_{\text{FT 1014}}$$

$$PFD_{\text{controller}} = PFD_{\text{FIC 1014}}$$

$$PFD_{\text{actuator}} = PFD_{\text{FV 1014}} \times PFD_{108J} \times PFD_{108JA}$$

- *Sistem Semi Lean Solution Benfield*

Pada sistem *semi lean solution benfield* juga terdapat pengendalian aliran dimana fluida yang dikendalikan adalah *semi lean solution benfield*. Aliran *semi lean solution benfield* dipompa oleh *semi lean pump* 107J-JA/JB/JC menuju kolom *absorber*. Pada keadaan normal debit aliran yang dipompa oleh *semi lean pump* berkisar 1350 ton/jam. Apabila debit aliran terlalu rendah mencapai 1100 ton/jm maka alarm akan memberi peringatan kepada FIC 1005 untuk memberikan sinyal kepada aktuatur FV 1005 untuk memperbesar bukaan *valve*. Namun apabila aliran debit terlalu tinggi maka alarm juga akan

memberikan peringatan kepada FV 1005 untuk mengurangi bukaan *valve*.

Besar debit aliran yang memasuki kolom *absorber* dapat diketahui berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan oleh FT 1005. Berdasarkan komponen tersebut diatas maka perhitungan SIL dapat diketahui dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{FT 1005}} \\ \text{PFD}_{\text{controller}} &= \text{PFD}_{\text{FIC 1005}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{107\text{J-JA}} \times \text{PFD}_{107\text{J-JB}} \times \text{PFD}_{107\text{J-JC}} \end{aligned}$$

- *Sistem Rich Solution Benfield*

Pada sistem *rich solution benfield* terdapat pengendalian level dimana *rich solution benfield* pada bagian *bottom* kolom absorber dijaga pada level 85% dari tinggi kolom absorber. Hal ini bertujuan agar tidak terjadi *low level* pada kolom absorber yang menyebabkan tidak adanya debit aliran yang cukup untuk menggerakkan turbin hidrolik 107JAHT. Turbin hidrolik 107JAHT digunakan untuk menggerakkan *semi lean solution benfield pump* yang menuju kolom absorber sehingga ketika turbin hidrolik tidak beroperasi maka aliran proses penyerapan CO₂ tidak bisa berlangsung dengan baik. Begitu pula sebaliknya ketika level *rich solution benfield* terlalu tinggi maka terjadi *overspeed* pada turbin hidrolik yang berpotensi menyebabkan kerusakan. Apabila level *rich solution benfield* terlalu rendah yaitu sekitar 70% atau terlalu tinggi yaitu 98% tinggi kolom absorber maka alarm akan memberi peringatan kepada LIC1004 untuk meberikan perintah eksekusi kepada aktuator LV 1004A. Sedangkan untuk mengetahui ketinggian level pada kolom *absorber* disertai dengan LT 1004. Selain itu terdapat sistem Saftety Integrity System (SIS) yang terdiri dari L1204 sebagai controller, LSSL 1024 sebagai sensor dan LV 1004B sebagai aktuator. Berdasarkan komponen-komponen tersebut maka nilai SIL dapat ditentukan dengan cara seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{LT 1004}} \\ \text{PFD}_{\text{controller}} &= \text{PFD}_{\text{LIC 1004}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{LV 1004A}} \times \text{PFD}_{\text{LV 1004B}} \end{aligned}$$

- Sistem Pengendalian Tekanan Gas CO₂

Pengendalian tekanan bertujuan untuk menghindari adanya *overpressure* pada CO₂ Absorber Drum 102-F2 yang berpotensi menyebabkan *overpressure* pada unit CO₂ Absorber 101-E. Oleh karena itu terdapat PV 1005 yang berfungsi sebagai *vent* yang akan membuka apabila terjadi kelebihan tekanan pada aliran yang menuju Metanator Feed 114-C. Perintah eksekusi akan dikirimkan oleh PIC 1005 apabila *sensing element* PT1005 mendeteksi adanya tekanan tinggi. Besar tekanan yang diperbolehkan yaitu 36.2 kg/cm². Berdasarkan komponen tersebut diatas maka nilai SIL dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{PT 1005}} \\ \text{PFD}_{\text{controller}} &= \text{PFD}_{\text{PIC 1005}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{PV 1005}} \end{aligned}$$

- Sistem Pengendalian Aliran Gas CO₂

Pengendalian aliran gas CO₂ yang dimaksud adalah pengendalian aliran gas CO₂ yang menuju reformer. Gas tersebut digunakan sebagai campuran bahan bakar (*fuel*) *furnace*. Pada pengendalian aliran terdapat *flow controller* FIC 1073 yang mengendalikan jumlah aliran melalui bukaan *valve* FV 1073. Untuk mengetahui banyaknya aliran gas CO₂ yang mengalir menuju bahan bakar *reformer* maka digunakan *flow transmitter* FT107. Berdasarkan komponen- tersebut diatas maka nilai SIL dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{FT 1073}} \\ \text{PFD}_{\text{controller}} &= \text{PFD}_{\text{FIC 1073}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{FV 1073}} \end{aligned}$$

- *Safety Instrumented System* (SIS) CO₂ Absorber 101-E

Safety Instrumented System (SIS) pada Unit CO₂ Absorber 101-E terdiri dari flow safety system dan *level safety system*. Keduanya bekerja ketika aliran *lean solution benfield* maupun *semi lean solution benfield* dan *level rich solution benfield*

mencapai nilai 'low'. Pada sistem pengaman *lean solution benfield* terdapat *flow transmitter* FT 1214 yang memberikan sinyal pada interlock I-106D untuk memberikan perintah *on* pada alarm FALL 1014 ketika terjadi *less flow*. Komponen tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{FT 1214}} \\ \text{PFD}_{\text{logic solver}} &= \text{PFD}_{\text{I-106D}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{FALL 1014}} \end{aligned}$$

Sedangkan pada *semi lean solution benfield* terdapat komponen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{FT 1205}} \\ \text{PFD}_{\text{logic solver}} &= \text{PFD}_{\text{I-106D}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{FALL 1205}} \end{aligned}$$

Sedangkan pada *level safety system* terdapat *level switch* LSL1 yang akan mengirimkan sinyal kepada *safety controller* L-1204 ketika *level rich solution benfield* mencapai 70%. Selanjutnya *safety controller* memberikan sinyal kepada alarm LALL 1204 untuk memberikan peringatan kepada operator. Berdasarkan komponen tersebut maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{sensor}} &= \text{PFD}_{\text{LT 1204}} \\ \text{PFD}_{\text{logic solver}} &= \text{PFD}_{\text{L 1204}} \\ \text{PFD}_{\text{actuator}} &= \text{PFD}_{\text{LALL 1204}} \end{aligned}$$

3.7 Penerapan Metode Risk Graph

Metode *Risk Graph* digunakan untuk mengetahui besar resiko yang diterima oleh pekerja apabila terjadi suatu kegagalan yang menimbulkan potensi bahaya. Selain itu *risk graph* juga dapat digunakan untuk menentukan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) berdasarkan parameter-parameter berikut:

- *Consequence (C)*

Parameter konsekuensi menunjukkan tingkat keparahan rata-rata akibat kejadian bahaya pada suatu daerah. Ketika suatu proses berada pada keadaan diluar kendali (*out of control*) maka potensi energi pada proses seperti temperatur, tekanan dan reaksi

kimia berpotensi untuk bocor. Kebocoran ini dapat memberikan dampak berbahaya atau menimbulkan kerugian terhadap:

- a. Manusia
- b. Keuangan/properti
- c. Lingkungan

Pada metode *risk graph* parameter konsekuensi digunakan untuk menganalisa tingkat keparahan yang diterima oleh seseorang yang berada pada suatu area berbahaya. Konsep ini dikenal dengan istilah *probable loss of life* (PLL) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$PLL = O_{\text{person}} \times V \quad (3.1)$$

dimana: PLL = potensi kematian (*probability loss of life*)

O_{person} = *occupancy*

V = *vulnerability*

Occupancy menyatakan suatu frekuensi suatu area dikunjungi oleh pekerja. *Occupancy* menyatakan fungsi luas dampak bahaya dengan densitas manusia yang ada di area tersebut. Nilai *occupancy* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$O_{\text{person}} = A_{\text{effect}} \times \rho_{\text{person}} \quad (3.2)$$

dimana: O_{person} = *occupancy*

A_{effect} = luas dampak bahaya (*effect zone*)

ρ_{person} = densitas orang

Densitas orang (ρ_{person}) dapat diketahui dengan mengetahui jumlah dan durasi operator di lapangan serta luas dampak bahaya (*effect zone*). Sedangkan *vulnerability* (V) merupakan fungsi konsentrasi bahaya dengan durasi seseorang terpapar oleh kejadian bahaya. Nilai *vulnerability* ditentukan berdasarkan besar dampak yang dihasilkan akibat terjadinya kerusakan pada

komponen dimana semakin besar dampak yang ditimbulkan maka nilai *vulnerability* akan semakin besar. Nilai tersebut dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut.

Tabel 3.2 Kategori *Vulnerability* (IEC 61511, 2003)

Parameter <i>Vulnerability</i>	Klasifikasi
0.01	Kebocoran ringan pada bahan yang beracun mudah terbakar
0.1	Kebocoran besar pada bahan yang beracun mudah terbakar
0.5	Kebocoran seperti diatas dengan bahan yang menyebabkan timbulnya api dan sangat beracun
1	Pecah atau meledak

Penentuan nilai *vulnerability* berdasarkan kerusakan komponen dan spesifikasi fluida yang digunakan pada proses. Parameter-parameter digunakan untuk mendapatkan nilai *Probability Loss of Life* (PLL) yang terbagi menjadi beberapa kategor seperti dibawah ini.

Tabel 3.3 Kategori PLL (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	Luka ringan
C_B	PLL = 0.01-0.1
C_C	PLL = 0.1-1
C_D	PLL >1

Selain itu parameter konsekuensi juga dapat ditentukan berdasarkan dampak kepada lingkungan dan keuangan (*finance*). Penentuan dampak terhadap lingkungan berdasarkan tingkat kerusakan komponen yang berpotensi menimbulkan pelepasan fluida proses. Sedangkan konsekuensi terdapat keuangan

(*finance*) ditentukan berdasarkan estimasi biaya yang dikeluarkan oleh perusahaan apabila terjadi kerusakan ataupun kegagalan pada komponen. Berikut merupakan parameter penentuan dampak konsekuensi terhadap lingkungan.

Tabel 3.4 Kategori Konsekuensi terhadap Lingkungan
(Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	Pelepasan fluida proses dengan kerusakan ringan
C_B	Pelepasan fluida proses di dalam pagar batas plant yang menyebabkan kerusakan yang signifikan
C_C	Pelepasan fluida proses keluar dari pagar batas plant menyebabkan kerusakan berat yang dapat diatasi dengan cepat atau tanpa menyebabkan konsekuensi yang signifikan
C_D	Pelepasan fluida proses keluar dari pagar batas plant yang menyebabkan kerusakan berat dan tidak dapat diatasi dengan cepat atau menyebabkan konsekuensi yang signifikan

Sedangkan kriteria penentuan konsekuensi berdasarkan besar biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan (*finance*) dapat ditentukan berdasarkan tabel berikut ini.

Tabel 3.5 Kategori Konsekuensi terhadap Keuangan
(AS/NZS 4360, 2004)

Parameter Resiko	Klasifikasi
C_A	<US\$10.000
C_B	US\$10.000-US\$100.000
C_C	US\$100.000-US\$1M
C_D	US\$1M-US\$10M

- *Occupancy (F)*

Occupancy merupakan parameter yang menyatakan frekuensi suatu area dikunjungi oleh manusia. Parameter ini ditentukan dengan mengetahui lama area tersebut dikunjungi pada keadaan normal (*normal operation*) serta densitas kunjungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Occupancy (F) = \left(\frac{\text{Durasi di Lapangan}}{\text{Waktu Operasi}} \right) \% \quad (3.3)$$

Terdapat dua kategori *occupancy* yang dinyatakan pada tabel berikut.

Tabel 3.6 Kategori *Occupancy* (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko	Klasifikasi	
<i>Occupancy</i> / Frekuensi kunjungan pada zona (F)	F_A	Frekuensi pada area berbahaya kurang dari 10%
	F_B	Frekuensi berada pada area berbahaya tinggi

Namun apabila kemungkinan operator berada pada area tersebut adalah 50:50 maka *occupancy* dapat dikategorikan pada F_B .

- *Probability of Avoidance (P)*

Probability of Avoidance (P) menyatakan kemungkinan manusia atau pekerja menghindari dampak bahaya yang timbul akibat terjadi kerusakan pada komponen. Penentuan kemungkinan menghindari bahaya atau *Probability of Avoidance (P)* dilakukan berdasarkan alat pelindung diri (APD) atau sistem *safety* yang terdapat ada suatu sistem. Penentuan parameter dapat dilakukan berdasarkan *British Standard IEC 61511-3* berikut.

Tabel 3.7 Kategori *Probability of Avoidance* (Marszal dan Scharpf, 2002; IEC 61511, 2003)

Parameter Resiko		Klasifikasi
Occupancy / Frekuensi kunjungan pada zona (F)	P_A	<p>Kemungkinan bahaya dapat dicegah dengan kriteria seperti dibawah ini:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Adanya alarm atau pemberitahuan kepada operator bahwa SIS mengalami kegagalan. • Adanya fasilitas yang disediakan ketika bahaya terjadi dan semua orang dapat menyelamatkan diri dari area bahaya • Waktu antara peringatan ke operator dan kejadian tidak lebih dari 1 jam atau setidaknya dapat dilakukan tindakan cepat
	P_B	Apabila point-point tersebut tidak dipenuhi

- *Demand Rate (W)*

Demand rate merupakan frekuensi kerusakan atau kegagalan pada suatu komponen terjadi setiap tahun. Parameter ini dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Demand rate} = \frac{\text{operation time}}{\text{MTTF}} \quad (3.4)$$

Nilai tersebut digunakan untuk menentukan kategori *demand rate* seperti pada tabel berikut ini.

Tabel 3.8 Kategori *Demand Rate* (Marszal dan Scharpf, 2002)

Parameter Resiko		Klasifikasi
Probabilitas dari kejadian yang tidak diinginkan / tingkat permintaan / <i>Demand Rate</i> (W)	W ₁	<i>Demand rate</i> < 0.03 per tahun
	W ₂	0.03 < Demand Rate < 0.3
	W ₃	0.3 < Demand Rate < 3

Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui nilai SIL dapat ditentukan berdasarkan arah panah yang menunjuk pada angka yang terdapat pada kolom *demand rate* seperti tampak pada skema *risk graph* gambar 2.2. penentuan SIL dengan *risk graph* berdasarkan setiap skenario kejadian bahaya.

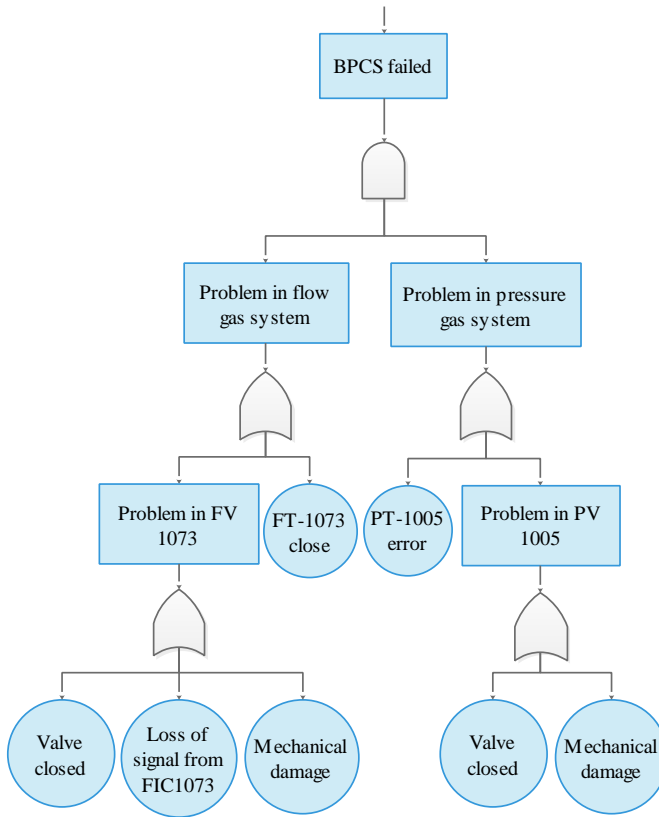
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kualitatif *Fault Tree Analysis* (FTA)

Analisis kualitatif menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi yang berpotensi menyebabkan kerusakan unit CO₂ Absorber 101-E. *Overpressure* merupakan suatu keadaan dimana besar tekanan pada unit CO₂ Absorber 101-E jauh melebihi 36.2 kg/cm². Pada diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) keadaan *overpressure* terjadi ketika aliran keluaran gas CO₂ tertutup baik disebabkan karena adanya sumbatan maupun kegagalan pada *valve* (*close*). Terakumulasinya gas CO₂ pada CO₂ Absorber menyebabkan tekanan serta temperatur semakin meningkat sehingga dapat merusak komponen lain yang ada pada kolom absorber.

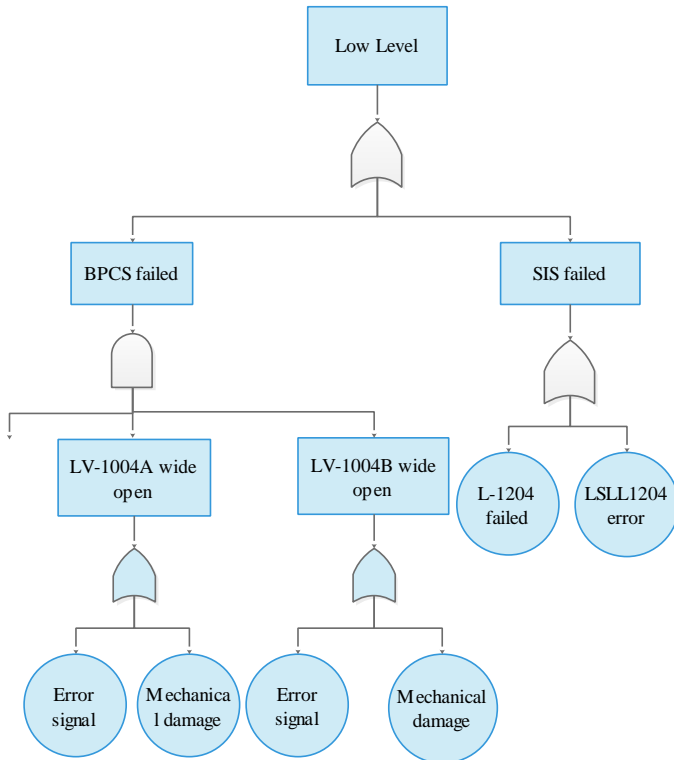
Terdapat dua loop pengendalian yang berpengaruh terhadap terjadinya *overpressure* pada unit CO₂ Absorber 101-E yaitu pengendalian aliran gas CO₂ yang menuju bahan bakar dan loop pengendalian tekanan gas CO₂ yang menuju metanator. Gas CO₂ menuju *fuel* akan digunakan sebagai campuran bahan bakar unit *reformer* sehingga besar aliran gas CO₂ harus dikendalikan agar tidak berlebih. Terdapat *flow valve* FV-1073 yang mengendalikan laju aliran gas CO₂ serta *transmitter* FT-1073 yang mengukur jumlah aliran gas CO₂ yang menuju bahan bakar (*fuel*). Sedangkan gas CO₂ yang menuju unit metanator akan diturunkan kadarnya karena gas tersebut menjadi racun bagi katalis di unit metanator. Selain itu gas CO₂ dapat menyebabkan kenaikan suhu yang tinggi pada unit methanator. Oleh karena itu besar tekanan gas CO₂ dijaga agar tidak jauh melebihi *set point* untuk menghindari *overheating* pada unit metanator. Pada pengendalian tekanan gas CO₂ yang menuju metanator terdapat transmitter PT-1005 yang mengukur besar tekanan gas CO₂ sebelum memasuki methanator feed. Apabila tekanan gas CO₂ terlalu tinggi maka valve PV-1005 akan membuka untuk mengurangi tekanan gas CO₂. Komponen- komponen tersebut dapat terlihat pada diagram *Fault Tree Analysis* (FTA).



Gambar 4.1 Diagram FTA untuk *Overpressure* pada Unit CO₂ Absorber

Pada diagram diatas dapat logika AND yang menyebabkan terjadinya overpressure pada Unit CO₂ Absorber. Hal itu disebabkan karena apabila salah satu dari keadaan tersebut dalam keadaan normal yaitu aliran gas CO₂ yang menuju bahan bakar (*fuel*) atau aliran gas CO₂ yang menuju metanator maka kemungkinan terjadinya tekanan tinggi dapat diatasi.

Selain itu *low level* pada unit CO_2 absorber juga dapat menyebabkan kerusakan pada absorber. *Low level* terjadi ketika level pada kolom absorber berada pada ketinggian yang jauh lebih rendah dari *set point* 85% . Keadaan ini diakibatkan karena jumlah aliran *rich solution benfield* yang keluar dari kolom absorber tidak sebanding dengan *rich solution benfield* yang dihasilkan dari proses pemisahan gas CO_2 dengan *lean solution benfield* dan *semi lean solution benfield*. Keadaan yang dapat menimbulkan potensi terjadinya *low level* pada kolom absorber dapat terlihat pada diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) berikut ini.



Gambar 4.2 Diagram FTA untuk *Low Level* pada Unit CO_2 Absorber 101-E

Pada diagram tersebut dapat diketahui bahwa *low level* terjadi karena adanya masalah pada *rich solution benfield valve* yaitu LV-1004 dan LV-1004B yang terbuka lebar. Keadaan *valve* yang terbuka lebar dapat disebabkan karena adanya gangguan pada sinyal yang dikirimkan oleh LIC-1004 maupun karena kerusakan mekanik pada *valve* tersebut. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan pada *valve* yaitu karena adanya karat ataupun erosi akibat pengkaratan. Selain itu *low level* pada kolom *absorber* juga dapat terjadi akibat adanya permasalahan pada *transmitter* LT-1004 baik berupa kesalahan pembacaan maupun kerusakan lainnya.

Keadaan lainnya yang dapat menimbulkan kerusakan pada unit CO_2 *absorber* yaitu karena tidak ada aliran (*no flow*) *benfield* yang masuk ke kolom *absorber*. *Benfield solution* merupakan media penyerap gas CO_2 yang ada pada *syn gas* sehingga kandungan gas CO_2 pada *syn gas* berkurang. Apabila jumlah *benfield solution* berkurang maka gas CO_2 akan lolos ke unit metanator. Seperti pada penjelasan sebelumnya bahwa gas CO_2 merupakan gas yang tidak diinginkan dalam proses pembentukan metana (CH_4) karena dapat menjadi racun bagi katalis. Selain itu gas CO_2 dapat menaikkan temperatur pada unit metanator sehingga berpotensi mengalami *overheating*. Bagi unit *absorber* jumlah aliran *benfield solution* merupakan parameter yang penting karena selain mengganggu proses, *less flow* pada aliran *benfield solution* juga dapat menyebabkan berkurangnya jumlah level (*low level*) *rich solution benfield*.

Faktor penyebab terjadinya *no flow benfield solution* dapat terlihat pada diagram *Fault Tree Analysis (FTA)*. Pada diagram tersebut penyebab utama terjadinya *less flow* adalah terjadinya kerusakan atau gangguan pada pompa *lean solution benfield* dan *semi lean solution benfield*. Seperti yang diketahui bahwa pompa merupakan komponen dinamik yang berputar sehingga potensi kerusakan maupun kegagalannya tinggi. Selain itu kerusakan pada *valve lean solution benfield* FV1014 serta pengkristalan larutan *benfield* juga berpotensi menyebabkan terjadinya *no flow benfield solution*.

4.2 Evaluasi Kuantitatif *Fault Tree Analysis* (FTA)

Analisis kuantitatif *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan berdasarkan nilai *probability failure on demand*. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui potensi terjadinya kerusakan pada Unit CO2 Absorber 101-E berdasarkan laju kegagalan komponen-komponen *Basic Process Control System* (BPCS) dan *Safety Instrumented System* (SIS). Nilai laju kegagalan tersebut digunakan untuk mengetahui *probability failure on demand* yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada Sistem CO2 Absorber 101-E. Perhitungan *Safety Integrity Level* (SIL) dilakukan berdasarkan Aljabar Bolean seperti dibawah ini.

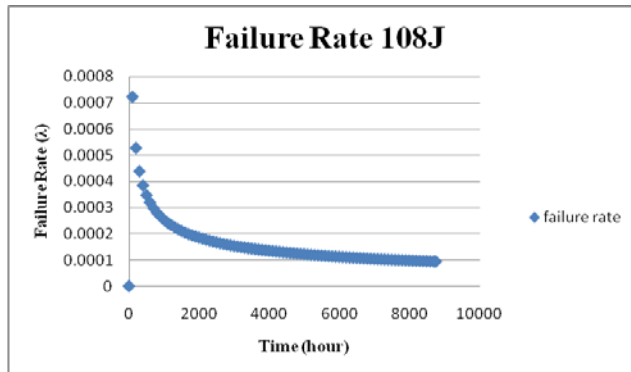
Untuk top event (T)

$$\begin{aligned}
 T(P) &= A \cup B \cup C \\
 &= \{A'\} \cup \{FUG\} \cup \{HUI\} \\
 &= \{D \cap E\} \cup \{[J \cap K] \cap [L \cup M]\} \cup \{[(A \cap I \cap A_J \cap A_K] \cup \\
 &\quad (A_L \cap A_M)]\} \\
 &= \{[SUT] \cap [UUV]\} \cup \{[(W \cap X \cap Y \cap Z) \cap (A \cup A_B)] \cap \\
 &\quad [(A_C \cap A_D \cap A_E \cap A_F) \cap (A_G \cup A_H)]\} \cup \\
 &\quad \{[(A \cap I \cap A_J \cap A_K] \cup (A_L \cap A_M)]\} \\
 &= \{[0.0000086 \cup 0.0256] \cap [0.876 \cup 0.0000247]\} \cup \\
 &\quad \{[(0.49298 \cap 0.412328 \cap 0.0354 \cap 0.005174) \cap \\
 &\quad (0.01058 \cup 0.125)] \cap [(0.56674 \cap 0.4702 \cap 0.876 \cap \\
 &\quad 0.876) \cap (0.0000134 \cup 0.125)]\} \cup \{[(0.2513 \cap 0.3544 \cap \\
 &\quad 0.0381] \cup (0.0007446 \cap 0.125)]\} \\
 &= 0.4121
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan Aljabar Bolean didapatkan nilai PFD sebesar 0.4121 Berdasarkan Standard IEC 61508 dan IEC 61511 nilai PFD tersebut termasuk kategori SIL 1. Komponen pompa baik *lean solution benfield pump* maupun *semi lean solution benfield* memiliki nilai PFD yang tinggi. Hal itu disebabkan karena sering terjadi kerusakan pada pompa, baik kerusakan ringan maupun berat. Nilai tersebut didapatkan dari data *maintenance* pada lampiran C kemudian dihitung laju kegagalan komponen seperti dibawah ini:

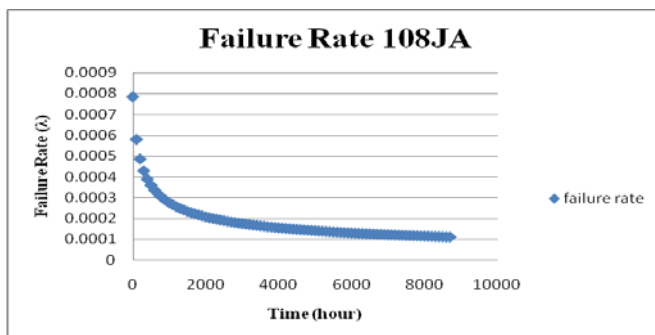
4.2.1 Lean Solution Benfield

Pada pengendalian aliran *lean solution benfield* terdapat dua pompa yaitu 108J dan 108 JA. Berikut merupakan grafik pada pompa 108J.



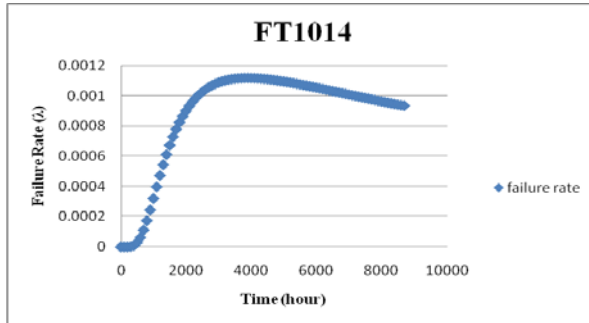
Gambar 4.4 Grafik Laju Kegagalan Pompa 108J

Pada grafik tersebut terlihat kenaikan laju kegagalan pada waktu operasi 5900 jam. Hal itu dapat disebabkan karena larutan benfield merupakan larutan yang korosif sehingga harus dilakukan pembersihan setiap dua hari sekali. Sedangkan grafik laju kegagalan pada pompa 108JA dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut ini.



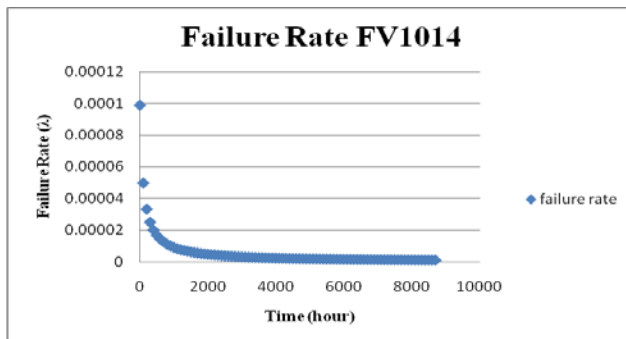
Gambar 4.5 Grafik Laju Kegagalan Pompa 108JA

Pada grafik tersebut terlihat penurunan nilai laju kegagalan pada pompa 108JA. Selain itu terdapat *transmitter* yang mengukur laju aliran *lean solution benfield* dan mengirimkan sinyal ke *controller* dengan grafik laju kegagalan berikut.



Gambar 4.6 Grafik Laju Kegagalan FT1014

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan laju kegagalan pada transmitter hingga waktu operasi 3000 jam kemudian mengalami penurunan. Sedangkan grafik laju kegagalan valve FV1014 adalah sebagai berikut.

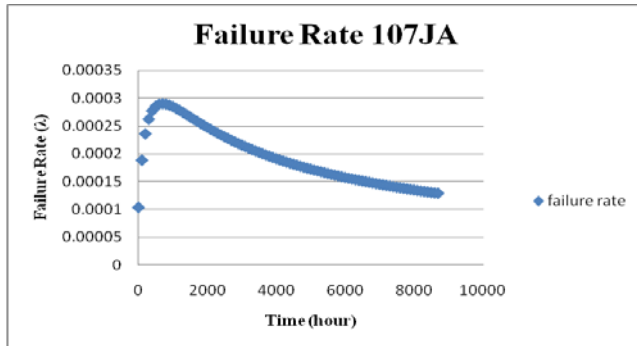


Gambar 4.7 Grafik Laju Kegagalan FV1014

Pada gambar 4.7 terlihat penurunan nilai laju kegagalan hingga 1.18×10^{-6} .

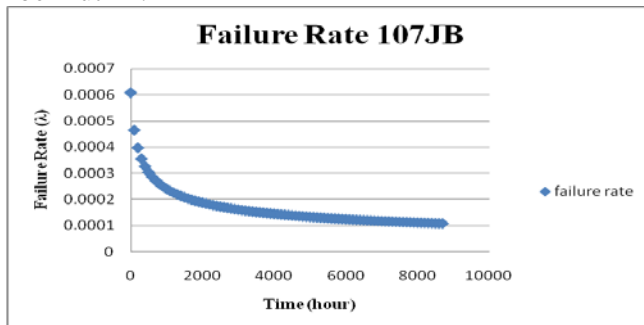
4.2.2 Semi Lean Solution Benfield

Pada pengendalian laju aliran *semi lean solution benfield* terdapat terdapat tiga pompa yaitu 107JA, 107JB dan 107 JC. Berikut merupakan grafik pada pompa 107JA.



Gambar 4.8 Grafik laju Kegagalan 107JA

Pada grafik tersebut terjadi kenaikan laju kegagalan hingga waktu operasi 1400 jam hingga 0.000227 kemudian terjadi penurunan pada jam operasi lebih dari 1400 jam hingga 0.000219. Sedangkan grafik laju kegagalan pompa 107JB dapat terlihat pada grafik berikut ini.



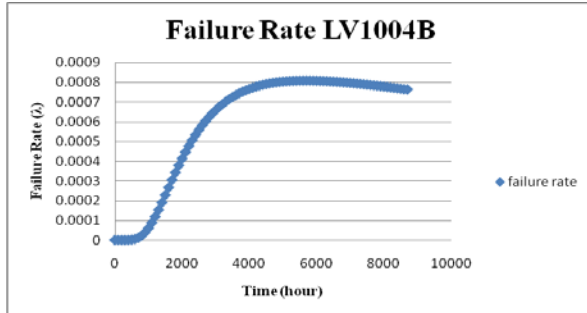
Gambar 4.9 Grafik laju Kegagalan 107JB

Pada grafik tersebut terjadi penurunan jam hingga 0.000107 pada jam operasi 8760. Terjadi perbedaan grafik laju kegagalan

antara pompa 107JA dan pompa 107 JB seperti pada gambar 4.8 dan gambar 4.9. Hal itu disebabkan karena pompa 107 JA lebih sering mengalami kerusakan mekanik dibandingkan dengan pompa 107 JB. Sedangkan pompa 107JC hasil penentuan distribusi dengan menggunakan Software Reliasoft Weibull 6++ diperoleh distribusi eksponensial sehingga nilai laju kegagalan dapat diperoleh secara langsung yaitu 0.002. Selain itu transmitter FT1005 yang berfungsi untuk mengukur laju aliran larutan *semi lean solution benfield* juga mempunyai distribusi eksponensial dengan laju kegagalan 0.002

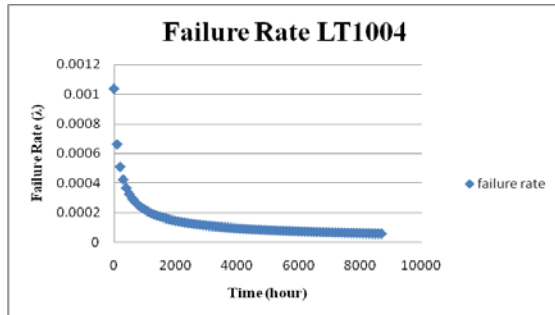
4.2.3 Rich Solution Benfield

Pada pengendalian level *rich solution benfield* terdapat dua buah valve yaitu LV1004A dan LV1004B. Berdasarkan yang telah dilakukan diperoleh bahwa LV1004 memiliki distribusi eksponensial dengan nilai laju kegagalan 8.09×10^{-5} . Sedangkan laju kegagalan LV1004B dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 4.10 Grafik laju Kegagalan LV1004B

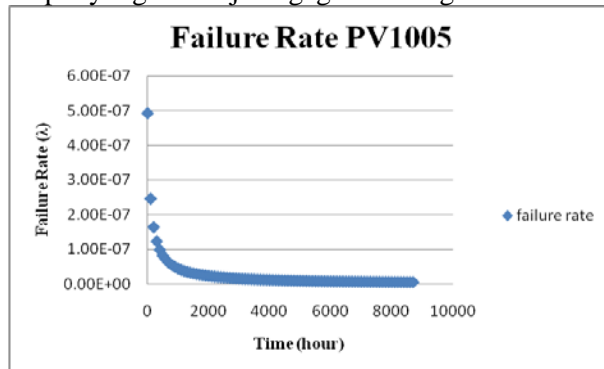
Pada gambar 4.10 terlihat kenaikan laju kegagalan pada jam operasi 400 jam kemudian mengalami penurunan pada jam operasi 6400 dengan nilai laju kegagalan 0.000804. Selain itu terdapat transmitter LT1004 yang mengukur laju aliran *rich solution benfield* yang keluar dari CO₂ Absorber 101-E. Transmitter tersebut mempunyai grafik laju kegagalan sebagai berikut.



Gambar 4.11 Grafik laju Kegagalan LT1004

4.2.4 Sistem Pengendalian Tekanan Gas CO₂

Pada pengendalian tekanan gas CO₂ terdapat *valve* PV1005 yang mempunyai grafik laju kegagalan sebagai berikut.

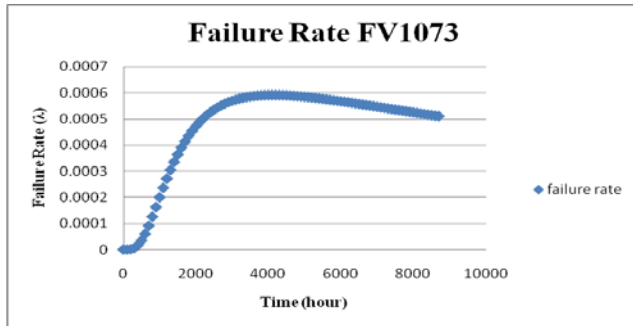


Gambar 4.13 Grafik laju Kegagalan PV1005

Pada gambar 4.13 terlihat penurunan laju kegagalan hingga 5.63×10^{-9} . Selain itu terdapat *transmitter* PT1005 yang berfungsi untuk mengukur laju aliran gas CO₂ menuju metanator. *Transmitter* tersebut mempunyai distribusi eksponensial dengan nilai laju kegagalan 0.002.

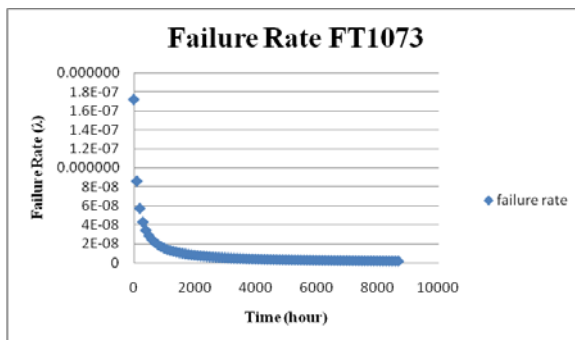
4.2.5 Sistem Pengendalian Aliran Gas CO₂

Pada pengendalian aliran gas CO₂ terdapat *valve* FV1073 yang mempunyai grafik laju kegagalan sebagai berikut.



Gambar 4.13 Grafik laju Kegagalan FV1073

Pada gambar 4.13 terlihat kenaikan laju kegagalan hingga 0.000592 kemudian terjadi penurunan laju kegagalan pada jam operasi 4500 jam hingga 8760 jam dengan nilai laju kegagalan sebesar 0.000511. Selain itu terdapat *transmitter* FV1073 yang berfungsi untuk mengukur laju aliran gas CO₂ menuju *fuel*. *Transmitter* tersebut mempunyai mempunyai grafik laju kegagalan sebagai berikut.



Gambar 4.14 Grafik laju Kegagalan FT1073

4.3 Analisa Semi Kuantitatif *Risk Graph*

Analisa grafik resiko (*risk graph*) dilakukan dengan menentukan skenario kejadian yang berpotensi menyebabkan kerusakan yang signifikan pada Unit CO₂ Absorber 101-E. Penentuan skenario tersebut berdasarkan *Hazard and Operability*

(HazOp) yang terdapat pada PT.Petrokimia Gresik. Berdasarkan HazOp dapat diketahui skenario yang diakibatkan adanya kegagalan pada *equipment* sehingga dapat mengganggu proses yang ada pada Unit CO₂ Absorber 101-E dan/atau menyebabkan kerusakan pada *equipment* lainnya. Berdasarkan skenario HazOp selanjutnya dilakukan analisa parameter *risk* sebagai berikut.

- Penentuan *Consequence* (C)

Penentuan parameter *consequence* (C) atau konsekuensi dilakukan berdasarkan dampak terhadap manusia (*human*), lingkungan (*environment*) dan keuangan (*finance*). Dampak terhadap manusia ditentukan berdasarkan kemungkinan terjadinya kematian atau luka pada pekerja atau *Probable Loss of Life* (PLL). Penentuan PLL terdapat *vulnerability* (V) yang menyatakan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan serta kecenderungan pekerja berada di daerah tersebut. Sedangkan penentuan konsekuensi terhadap lingkungan ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan komponen yang berpotensi menimbulkan kebocoran. Berdasarkan kriteria tersebut maka nilai konsekuensi dari skenario didapatkan sebagai berikut.

- Penentuan *Occupancy* (F)

Penentuan *occupancy* (F) atau frekuensi kunjungan dilakukan berdasarkan lama pekerja berada di Unit CO₂ Absorber 101-E selama waktu operasi yaitu 24 jam. Dalam satu hari terdapat 3 *shift* pekerja dimana pada masing-masing *shift* tersebut terdapat 1 pekerja yang berada dilapangan selama 3 jam.

- Penentuan *Probability Avoiding Hazard* (P)

Penentuan *probability avoiding hazard* (P) merupakan kemungkinan seseorang terhindar dari dampak bahaya apabila kejadian bahaya terjadi. Kalsifikasi itu berdasarkan beberapa kriteria yang terdapat pada IEC 61511. Terdapat dua klasifikasi yaitu Pa dan Pb. Kategori Pa akan dipilih apabila kriteria pada IEC 61511 terpenuhi sedangkan Pb akan dipilih apabila kriteria pada IEC tidak terpenuhi.

- Penentuan *Deman Rate* (W)

Demand rate (W) merupakan frekuensi terjadinya kegagalan pada suatu komponen. Pada umumnya demand rate dinyatakan per tahun. Dalam menentukan nilai *demand rate* sama dengan menentukan nilai *likelihood* pada risk matrik yaitu dengan mengetahui nilai *Mean Time To Failure* (MTTF) dari masing-masing komponen. Penentuan klasifikasi *demand rate* pada Unit CO₂ Absorber 101-E adalah sebagai berikut:

- Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL)

Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL) menggunakan metode *Risk Graph* dilakukan berdasarkan nilai parameter *consequence* (C), *occupancy* (F), *probability avoiding hazard* (P) dan *demand rate* (D) pada setiap skenario kejadian. Berdasarkan parameter tersebut maka didapatkan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada Unit CO₂ Absorber 101-E seperti pada tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Penentuan *Safety Integrity Level* (SIL) pada *Risk Graph*

No	Node		Skenario	Cause	C		Influence		Demand	SIL
					Type	C	F	P	W	
1	19	1	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	FV-1073 gagal membuka	H	Cb	Fb	Pb	W3	3
					E	Ca				
					F	Ca				
2	19	2	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	PV-1005 gagal membuka	H	Cb	Fb	Pb	W3	3
					E	Ca				
					F	Ca				
3	19	3	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004A terbuka lebar	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
4	19	4	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004B terbuka lebar	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
5	20	1	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JA trip	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				

No	Node		Skenario	Cause	C		Influence		Demand	SIL
					Type	C	F	P	W	
6	20	2	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JB trip	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
7	20	3	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JC trip	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
8	24	1	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	FV1014 damage	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
9	24	2	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-J damage	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				
10	24	3	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-JA damage	H	Cb	Fb	Pa	W3	2
					E	Ca				
					F	Ca				

Berdasarkan tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai konsekuensi terhadap manusia bernilai Cb. Salah satu parameter dalam menentukan konsekuensi terhadap manusia vulnerability dimana parameter tersebut dipengaruhi oleh jenis fluida proses. Pada Unit CO₂ Absorber 101-E fluida proses yang digunakan adalah larutan benfield dan gas karbondioksida. Kedua fluida tersebut dalam skala besar memang dapat memberikan efek terhadap kesehatan misalnya gas karbondioksida yang dapat menyebabkan sesak nafas bila kadar oksigen lebih sedikit dan larutan benfield yang dapat menyebabkan iritasi pada mata dan kulit. Akan tetapi fluida tersebut tidak mudah terbakar sehingga ilai vulnerability bernilai 0.1 untuk skenario *overpressure* dan 0.01 untuk skenario *no flow* dan *low level*. Sedangkan konsekuensi terhadap lingkungan dan keuangan bernilai Ca karena kerusakan komponen yang ada pada unit tersebut termasuk kategori ringan sehingga besar biaya yang dikeluarkan oleh PT.Petrokimia kurang dari US\$10.000 atau setara dengan Rp.133.000.000.

Dalam penentuan nilai *occupancy* berdasarkan dari jumlah pekerja yang berkunjung di lapangan. Hasil nilai *occupancy* didapatkan bahwa seluruh skenario bernilai Fb. Hal itu disebabkan karena jumlah operator untuk CO₂ *removal* yang terdiri dari Unit CO₂ Absorber 101-E dan Unit CO₂ Stripper 102-E satu orang. Sedangkan keseluruhan skenario pada tabel tersebut berada pada satu unit yaitu Unit CO₂ Absorber 101-E. Sedangkan penentuan parameter *probability avoiding hazard* (P) dapat diketahui bahwa sebagian besar sistem yang terdapat pada Unit CO₂ Absorber 101-E dilengkapi dengan sistem alarm dan *shutdown system* sehingga bernilai Pa. Akan tetapi pada sistem pengendalian tekanan tidak sehingga termasuk dalam kategori Pb.

Parameter yang terakhir yaitu *demand rate* (W) yang ditentukan berdasarkan potensi kegagalan komponen penyebab terjadinya skenario bahaya. Berdasarkan keempat parameter tersebut didapatkan bahwa untuk skenario kejadian *overpressure* mempunyai nilai SIL 3 sedangkan skenario kejadian *no flow* dan

low level mempunyai nilai SIL 2. Perbedaan nilai SIL tersebut karena tidak terdapat *safety system* seperti alarm pada pengendalian tekanan gas karbondioksida dan pengendalian aliran gas karbondioksida. Sedangkan pada pengendalian aliran larutan benfield baik lean solution benfield maupun semi lean solution benfield dan pengendalian level terdapat *safety system* yaitu I-106 dan L-1204.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *Safety Integrity Level* (SIL) sistem CO₂ Absorber 101E yang ditentukan dengan menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) berada pada SIL 1 dengan nilai *Probability Failur on Demand* (PFD) 0.4121. Penentuan nilai SIL dilakukan berdasarkan nilai laju kegagalan komponen yang ada pada Unit CO₂ Absorber 101E.
2. Penentuan nilai *Safety Integrity Level* (SIL) pada setiap skenario kejadian dengan menggunakan metode *Risk Graph* pada Unit CO₂ Absorber 101E didapatkan bahwa pada skenario kejadian *overpressure* mempunyai nilai SIL 3, sedangkan skenario kejadian *no flow* dan *low level* mempunyai nilai SIL 2. Penentuan nilai SIL dilakukan berdasarkan parameter konsekuensi (C), frekuensi kunjungan dilapangan (O), kemungkinan menghindari bahaya (F) dan kemungkinan kerusakan komponen (W).

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan yaitu terdapat estimasi luas dampak bahaya yang lebih spesifik agar dapat dilakukan analisa konsekuensi yang lebih mendalam.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

- Penentuan *Consequence* (C)

No.	Node		Skenario	Cause	Consequence (C) for human							Consequence (C) for environment	Consequence (C) for financial
					V	A (m2)	No.of people	%time in effect zone	Person Density (ρ)	PLL	Category		
1	19	1	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	FV-1073 gagal membuka	0.1	5000	3	0.375	0.000225	0.1125	Cb	Ca	Ca
2	19	2	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	PV-1005 gagal membuka	0.1	5000	3	0.375	0.000225	0.1125	Cb	Ca	Ca
3	19	3	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004A terbuka lebar	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
4	19	4	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004B terbuka lebar	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
5	20	1	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JA trip	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
6	20	2	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JB trip	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
7	20	3	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JC trip	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
8	24	1	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	FV1014 damage	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca

No.	Node		Skenario	Cause	Consequence (C) for human						Consequence (C) for environment	Consequence (C) for financial	
					V	A (m2)	No.of people	%time in effect zone	Person Density (ρ)	PLL			Category
9	24	2	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-J damage	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca
10	24	3	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-JA damage	0.01	7.77	3	0.375	0.14478764	0.01	Cb	Ca	Ca

- Penentuan *Occupancy* (F)

No.	Node		Skenario	Cause	Occupancy (F)				
					Occupancy time (hours)	Shift/day	Operation time (hour)	occupancy / day	Category
1	19	1	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	FV-1073 gagal membuka	3	3	24	0.375	Fb
2	19	2	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	PV-1005 gagal membuka	3	3	24	0.375	Fb
3	19	3	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004A terbuka lebar	3	3	24	0.375	Fb
4	19	4	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004B terbuka lebar	3	3	24	0.375	Fb
5	20	1	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JA trip	3	3	24	0.375	Fb
6	20	2	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JB trip	3	3	24	0.375	Fb

No.	Node		Skenario	Cause	Occupancy (F)				
					Occupancy time (hours)	Shift/day	Operation time (hour)	occupancy / day	Category
7	20	3	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JC trip	3	3	24	0.375	Fb
8	24	1	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	FV1014 damage	3	3	24	0.375	Fb
9	24	2	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-J damage	3	3	24	0.375	Fb
10	24	3	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-JA damage	3	3	24	0.375	Fb

• Penentuan *Probability Avoiding Hazard* (P)

No.	Node		Skenario	Cause	Probability Avoiding Hazard (P)				
					Fasilitas alarm (1/0)	Fasilitas shutdown system	Respon alarm bahaya <1 jam	Total	Category
1	19	1	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	FV-1073 gagal membuka	0	0	0	0	Pb
2	19	2	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	PV-1005 gagal membuka	0	0	0	0	Pb
3	19	3	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004A terbuka lebar	1	1	1	3	Pa
4	19	4	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004B terbuka lebar	1	1	1	3	Pa

No.	Node		Skenario	Cause	Probability Avoiding Hazard (P)				
					Fasilitas alarm (1/0)	Fasilitas shutdown system	Respon alarm bahaya <1 jam	Total	Category
5	20	1	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JA trip	1	1	1	3	Pa
6	20	2	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JB trip	1	1	1	3	Pa
7	20	3	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JC trip	1	1	1	3	Pa
8	24	1	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	FV1014 damage	1	1	1	3	Pa
9	24	2	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-J damage	1	1	1	3	Pa
10	24	3	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-JA damage	1	1	1	3	Pa

• Penentuan *Deman Rate* (W)

No.	Node		Skenario	Cause	Deman Rate (W)		
					MTTF	Likelihood/year	Category
1	19	1	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	FV-1073 gagal membuka	2923	2.996921	W3
2	19	2	Kelebihan tekanan (overpressure) pada unit CO2 absorber	PV-1005 gagal membuka	4541.538	1.928862	W3

No.	Node		Skenario	Cause	Deman Rate (W)		
					MTTF	Likelihood/year	Category
3	19	3	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004A terbuka lebar	5840	1.5	W3
4	19	4	Level rich solution benfiled pada CO2 Absorber rendah (low level)	LV-1004B terbuka lebar	3,073	2.850449	W3
5	20	1	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JA trip	4728	1.852792	W3
6	20	2	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JB trip	4833.231	1.812452	W3
7	20	3	Tidak ada aliran (no flow) semi lean solution benfiled	Pompa 107-JC trip	4429.714	1.977554	W3
8	24	1	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	FV1014 damage	4440	1.972973	W3
9	24	2	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-J damage	4710	1.859873	W3
10	24	3	Tidak ada aliran (no flow) lean solution benfiled	Pompa 108-JA damage	4526.8	1.935142	W3

DAFTAR PUSTAKA

- Center for Chemical Process Safety (CCPS)., 2012. **Guidelines for Evaluating Process Plant Buildings for External Exploisions Fires and Toxic Releases**. America : A John Wiley & Sons, Inc
- Ebeling, Charles E.,1997. **An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering**. Singapore : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- British Standard,. 2003., International Electrotechnical Commision (IEC) 61511-3. England. British Standart Institution
- Lassen, Christopher A., 2008. **Layer of Protection Analysis (LOPA) Determination of Safety Integrity Level (SIL)**. Norwegian University of Science and Technology
- M.Marszal, Edward dan W.Scharpf, Eric.,2002. **Safety Integrity Level Selection**. United State of America : Research Triangle Park, NC: ISA.
- Torres, Alejandro dan Echeverria., Oktober 2014. **“On the Use of LOPA nad Risk Graph for SIL Determination”**. 17th Annual International Symposium